

ENERGIAS ALTERNATIVAS Y RENOVABLES

EVALUACION DEL PROCESO DE DEGRADACION ANAEROBIA DE RESIDUOS ORGANICOS DEL BENEFICIO DEL CAFÉ PARA OBTENER BIOGAS

**Fabián Camilo Rojas Garzón (1) Cód.
64131070**

Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Ambiental

Director:
Lic. M. Sc Fausto Emilio Córdoba Mena

Universidad Libre
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería
Ambiental Bogotá,
Agosto de 2018

Declaratoria de originalidad:

“La presente propuesta de trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Ambiental de la Universidad Libre no ha sido aceptado o empleado para el otorgamiento de calificación alguna, ni de título, o grado diferente o adicional al actual. La propuesta de tesis es resultado de las investigaciones del autor (es), excepto donde se indican las fuentes de información consultadas”.

Fabián Camilo Rojas Garzón
Est. Ing. ambiental U. libre
64131070

CONTENIDO

Lista de Figuras	4
Lista de Graficas.....	4
Lista de Tablas	5
Lista de Anexos	6
1. RESUMEN.....	7
2. INTRODUCCION.....	9
3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	11
4. JUSTIFICACION	13
5. OBJETIVOS	15
5.1 GENERAL.....	15
5.2 ESPECÍFICOS.....	15
6. MARCO REFERENCIAL	16
6.1 MARCO TEORICO	16
6.1.1. BIODIGESTOR	16
6.1.2 BIODIGESTION	18
6.1.3 BACTERIAS METANOGENICAS	23
6.1.4. BENEFIO DE CAFÉ.....	25
6.1.5. Parámetros Para Evaluar El Desempeño De Un Biodigestor.....	25
6.2. MARCO CONCEPTUAL.....	29
7. DISEÑO METODOLOGICO.....	31
7.1 Etapa 1: (Caracterización de Aguas miel Antes de Biodigestor).	31
7.1.1. pH.....	31
7.1.2. Demanda Química de Oxígeno.....	31
7.1.3. Solidos Suspendidos Totales.....	32
7.1.4. Otros Parámetros.....	33
7.2. Etapa 2: (Determinación de Subproductos en Beneficio y Lavado de Café).	33
7.3. Etapa 3: (Diseño, Construcción y Puesta en Marcha del Biodigestor).	35
7.3.1. DISEÑO	35
7.3.2. Construcción	38
7.3.3. Puesta en Marcha	41
7.4. Etapa 4: (Evaluación del Desempeño del biodigestor).	42
8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	42
8.1. Etapa 1: (Caracterización de Aguas miel Antes de Biodigestor).....	42
8.1.1. Determinación DQO	42
8.1.2. Determinación Solidos Suspendidos Totales	43
8.1.3 Determinacion de Indice de Refraccion y % de Azucar.....	44
8.1.4. Estado Inicial de Aguas Miel y Cumplimiento Normativo	45
8.2. Etapa 2: (Determinación de Subproductos en Beneficio y Lavado de Café).	46
8.3. Etapa 3: (Diseño, Construcción y Puesta en Marcha del Biodigestor).	48
8.4. Etapa 4: (Evaluación del Desempeño del biodigestor).	50
8.4.1Caracterizar el agua miel que ya fue degradada por el biodigestor	51
8.4.2. Funcionamiento del Biodigestor Durante el Periodo de Operación.....	54
8.4.3. Remocion Por El Sistema	55
9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	58
BIBLIOGRAFÍA.....	60
ANEXOS.....	63

Lista de Figuras

<i>Figura 1 Representación de la digestión anaerobia</i>	<i>19</i>
<i>Figura 2 balance anaerobio de la DQO.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 3 Balance aerobio de la materia orgánica</i>	<i>20</i>
<i>Figura 4 Etapas de la digestión anaerobia</i>	<i>22</i>
<i>Figura 5 Representación sistema de entrada de agua al biodigestor.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 6 Representación sistema de dispersión interna en el biodigestor</i>	<i>39</i>
<i>Figura 7 Representación gráfica del contenedor con el cual se construirá el biodigestor.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 8 Representación sistema de salida de gas.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 9 Representación salida de fluido degradado</i>	<i>41</i>
<i>Figura 10 Balance de masa del proceso de Beneficio y Lavado de café</i>	<i>47</i>

Lista de Graficas

<i>Grafica 1 % de Azúcar vs Temperatura</i>	<i>44</i>
<i>Grafica 2 % Azúcar vs Temperatura</i>	<i>52</i>
<i>Grafica 3 Presión de salida de gas.....</i>	<i>55</i>
<i>Grafica 4 Remoción DQO</i>	<i>56</i>
<i>Grafica 5 Remoción SST.....</i>	<i>57</i>
<i>Grafica 6 Remoción SST.....</i>	<i>57</i>

Lista de Tablas

<i>Tabla 1 Reacciones Bioquímicas en la Digestión Anaerobia de la Materia</i>	<i>23</i>
<i>Tabla 2 Principales reacciones metanogénicas y consumidoras de hidrogeno</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 3 Valores típicos de k, K, L.....</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 4 Relación de equipos utilizados para monitoreo</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 5 "Reporte de Laboratorio DQO"</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 6 "Reporte de Laboratorio Solidos Suspendidos Totales"</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 7 "Tabla reporte de índice de refracción y % de azúcar"</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 8 Caracterización Agua Residual Antes de ser Sometida a Biodigestor.</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 9 reporte de generacion de residuos provenientes del beneficio y lavado del café en la finca el recreo vereda santa marta municio mesitas del colegio</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 10 Tabla balance de materia del beneficio y lavado de café</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 11 Reporte de Laboratorio DQO muestras después de degradación anaerobia</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 12 Reporte de laboratorio Solidos Suspendidos Totales.....</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 13 Índice de Refracción y % de Azúcar</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 14 Estado del Vertimiento y Cumplimiento Normativo Después de Degradación</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 15 Reportes Sobre el Funcionamiento del Biodigestor Escala Laboratorio.</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 16. Remoción por el Sistema</i>	<i>56</i>

LISTA DE ANEXOS

<i>ANEXO I “Guía para la Determinación de la DQO en Fuentes Hídricas Superficiales”</i>	<i>63</i>
<i>ANEXO II Guía IDEAM para determinar Solidos Suspendidos Totales En Agua Secados a 103°C - 105° C</i>	<i>65</i>
<i>ANEXO III “Tabla de relaciones volumétricas vs alturas para el biodigestor”</i>	<i>71</i>
<i>ANEXO IV “VIDEO SOLIDO BIODIGESTOR”</i>	<i>72</i>

1. RESUMEN

El presente trabajo hace parte de un proyecto investigativo, desarrollado por un estudiante de la Universidad Libre seccional Bogotá, el cual consiste en la generación de gas, a partir de la degradación de aguas miel provenientes de beneficio y lavado del café. Esto por medio de un biodigestor anaerobio diseñado y construido por el autor. El proyecto se desarrolla en su fase constructiva en la finca “*el recreo*” ubicada en la vereda santa marta, la cual pertenece al municipio mesitas del colegio. Sin embargo, los análisis realizados al efluente a degradar son realizados en los laboratorios de la Universidad Libre seccional Bogotá sede el Bosque.

El interés por parte del autor hacia el tema de estudio nace a partir de una visita a la finca mencionada anteriormente, esta fue realizada con fines académicos. Durante el recorrido por los diferentes procesos se identificó una de las mayores problemáticas que tiene la actividad cafetera. En específico en la etapa de beneficio y lavado donde se generan efluentes hídricas contaminadas con materia orgánica. Esto genera gran potencial para el uso de reactores anaerobios ya que permitirá la generación de gas como posterior oportunidad de obtención de energía y como valor agregado la disminución en la materia orgánica presente en el efluente por degradación de la misma.

Una vez identificada la problemática para el desarrollo del presente proyecto, se busca un documento que pueda ser utilizado como base técnica. De esta forma se llega al “Manual de Especificaciones Técnicas para el Diseño y Construcción de Biodigestores” el cual fue elaborado por la SERMANAT (Secretaria de Medio Ambientes y Recursos Naturales) de México. Por otra parte para saber el nivel de impacto que está generando el reactor sobre el efluente residual, tanto para la generación de energía como para el cumplimiento normativo se analizan la DQO, SST, entre otros parámetros que se ven afectados por la contaminación de agua con materia orgánica, dichas mediciones se hacen a la entrada y a la salida del reactor. Cabe resaltar que como normatividad de referencia se utiliza la resolución 631 de 2015 para tener valores de referencia en cuanto a vertimiento. En cuanto al reactor se toman medidas de volumen y presión de gas durante el tiempo de funcionamiento.

En la fase de construcción proyecto se obtienen productos Como el diseño del reactor, un video con el sólido del reactor que servirá como plano para la construcción del mismo. Por otra parte se encuentra que por medio del biodigestor hay una generación de gas, y al mismo tiempo se lleva del incumplimiento al cumplimiento de los límites para vertimientos provenientes del beneficio y lavado de café por el método ecológico establecidos en capítulo VI, artículo 9 de la resolución 631 de 2015 (*parámetros físico químicos vertimientos provenientes de la agroindustria, beneficio de café*).

2. INTRODUCCION

Las aguas residuales provenientes del lavado del café, también llamadas aguas mieles presentan una alta carga orgánica, esto como consecuencia del contacto directo con materia orgánica diluyente que contiene el café. Esta situación presenta una gran problemática en la región del Tequendama la cual se caracteriza por ser de cultura cafetera. La problemática se fundamenta en la descarga directa de los efluentes residuales a fuentes hídricas cercanas. Afectando indicadores de calidad de agua superficial y a su vez incurriendo en incumplimientos normativos ya que parámetros como la Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales y pH tienen límites máximos permisivos para vertimientos provenientes del beneficio y lavado de café los valores para estos parámetros están establecidos en establecidos en capítulo VI, artículo 9 de la resolución 631 de 2015 (*parámetros físico químicos vertimientos provenientes de la agroindustria, beneficio de café*).

Para dar solución a esta problemática, dichas efluentes residuales deben ser tratadas para posterior vertimiento a los cuerpos de agua superficiales cumpliendo con los estándares de calidad correspondientes. Por otra parte, se integra una problemática de carácter mundial y es la necesidad de generar nuevas alternativas de energía. Teniendo en cuenta la integración de estas dos problemáticas, y el contexto de la situación en la zona. Una de las alternativas para dar solución a ambas es un reactor anaerobio para degradar la materia orgánica, disminuyendo los indicadores de condición ambiental mencionados anteriormente hasta los límites establecidos en la resolución mencionada anteriormente.

En estos sistemas se emplean cultivos biológicos para la degradación aeróbica del efluente (reducción de la materia orgánica), a través de una película de microorganismos formada dentro de componentes orgánicos acumulados en la superficie del digestor, facilitando su reproducción.

De manera general un biodigestor consiste en un sistema anaerobio en el cual se almacena materia orgánica por un lapso de tiempo determinado facilitando la producción y reproducción de vida bacteriana, cuyo metabolismo funciona por medio de la degradación de la materia. Este tipo de reactores no tiene como

necesidad fundamental hacer recirculación de lodos. Sin embargo, al realizar esta práctica se podría aumentar la eficiencia del sistema.

Por otra parte, en el contexto nacional se aprecia que Colombia es un país cuya población campesina dedicada al cultivo de café es alta. Sin embargo, la gran mayoría de estos no tienen el acercamiento tecnológico suficiente para realizar buenas prácticas. Derivando esta situación particular en contaminación a fuentes hídricas superficiales por efluentes residuales con alta carga orgánica.

Por otra parte, en el último siglo el país ha asociado su desarrollo con la explotación de combustibles fósiles; a los cuales actualmente no les queda un periodo de vida muy largo. Teniendo en cuenta las problemáticas expuestas anteriormente el presente trabajo busca diseñar, construir y evaluar el funcionamiento de un biodigestor a escala laboratorio, el cual funcionara con las aguas residuales provenientes del lavado de café.

3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En las veredas aledañas al municipio de Mesitas del Colegio uno de los procesos productivos agrícolas se basa en el cultivo y procesamiento de café. Dicho proceso requiere uso de agua específicamente en la etapa de beneficio del café. [1] (Núñez, 2013)

Una de las problemáticas generadas en este proceso está relacionada con el consumo de agua, debido a que para poder realizarlo se hace necesario el uso excesivo de dicho recurso, teniendo como consumo promedio un (1) L de agua por un (1) kg de café beneficiado y lavado. De lo anterior se precisa que al utilizar el agua genera afluentes residuales contaminadas con materia orgánica, esto tiene como implicación el aumento de los valores de DQO y SST del vertimiento. [2] (Salazar Salas, Quiroga Mateus, & Castillo Rojas, 2013)

Los productores de café localizados en cercanías de Mesitas del Colegio están divididos en dos sectores. El primer sector son aquellos productores que tienen sus cultivos certificados y se caracterizan por hacer un manejo responsable de sus residuos, utilizando tecnologías de CENICAFE, como es el caso del SMTA (sistemas modulares de tratamientos anaerobios), mediante el cual hacen tratamiento a las aguas residuales. Otra de las actividades que realizan para el manejo de sus residuos es la lombricultura, mediante la cual convierten en abono orgánico la materia orgánica sólida. Por otra parte, se encuentra el segundo sector que hace referencia a los productores no certificados, los cuales en su mayoría no realizan manejo responsable a los residuos generados, teniendo como principal impacto descargas de aguas residuales con alto contenido de materia orgánica directamente a las fuentes hídricas cercanas. [3] (Rodríguez Valencia, 2009)

A pesar de la ardua labor que ha desarrollado CENICAFE en su afán de impulsar a los productores que no han tecnificado sus cultivos y así lograr un manejo responsable de sus residuos y la implementación de las tecnologías recomendadas, aún se siguen encontrando descargas de aguas

Residuales de dichas fincas a las fuentes hídricas cercanas, estas aguas son utilizadas para regadío de cultivos aledaños. [4] (Puerta Quintero, 2007)

Frente a esta problemática general el proyecto plantea la solución de un problema específico mediante el siguiente interrogante: ¿en qué proporción es factible diseñar y construir un biodigestor prototipo para utilizarlo como método para la obtención de gas y al mismo tiempo la disminución de la DQO y los SST presentes en el agua residuales provenientes del lavado de café hasta el cumplimiento normativo? Se trata de una pregunta de gran importancia tanto teórica como práctica, pues de su solución depende la difusión y así poderlo aplicar a una mayor escala y de esta forma encontrar una solución para disminuir las descargas de aguas residuales y darles a los productores nuevas fuentes de energía para contribuir con la sostenibilidad de sus cultivos.

En los últimos años asociaciones dedicadas a la investigación de procesos cafeteros han desarrollado varios tipos de tratamientos anaerobios, los cuales en su mayoría han sido dedicados al tratamiento de las aguas residuales dejando a un lado los lodos obtenidos y la generación de biogás (CH_4 , CO_2) que se obtiene del proceso.

4. JUSTIFICACION

Las aguas residuales generadas en el beneficio del café son en gran proporción de composición orgánica y biodegradable; esta situación se da debido a que la cereza del café está compuesta por lignina, celulosas, material lignocelulosa soluble, dichos compuestos son en su mayoría solubles y otorgan su composición orgánica al agua utilizada para hacer el beneficio del café. Las aguas residuales debido a su carga orgánica y alta concentración en compuestos derivados del nitrógeno permiten la vida y actividad bacteriana dando como resultado una aceleración en la etapa acetilénica y la metanogénesis. [5] (Real Olvera & Islas Gutiérrez, 2010)

La contaminación de los cuerpos de agua (corrientes superficiales, subterráneas y embalses) es, sin duda, una de las problemáticas más complejas que se presentan en la actualidad ya que genera afectaciones en todos los horizontes de la sociedad, por ejemplo genera problemas de salubridad, deterioro ambiental y en ocasiones llega a generar daños en la economía. Para abordar esta problemática hoy en día se utilizan diferentes estrategias, las cuales van encaminadas a la descontaminación de estos cuerpos de agua por medio de diferentes métodos. En algunos casos se utilizan métodos mecánicos para remoción de sólidos, por otra parte se hace uso de la química para remover bacterias, pero en la minoría de las situaciones se hace uso de métodos biológicos, los cuales brindan una gran oportunidad para la descontaminación de los cuerpos de agua por medio de la degradación de compuestos.

La utilización de bacterias para realizar descomposición anaerobia a la materia orgánica ha abierto nuevos horizontes de cara a la descontaminación y a la generación de nuevas fuentes de energía. De ahí la importancia, como en el caso que nos ocupa este proyecto, diseñar un biodigestor prototipo teniendo en cuenta técnicas y recomendaciones hechas en el documento que servirá como base tecnológica y ponerlo en marcha utilizando como materia aguas residuales provenientes del

beneficio del café, para de esta forma dar un manejo responsable y así disminuir las descargas de aguas residuales a las fuentes hídricas. [6] (Gutiérrez Guzmán, Valencia Granada, & Aragón Calderón, 2014)

Hoy en día los biodigestores han venido siendo utilizados con mayor frecuencia por personas cuyos hogares se encuentran lejos de una fuente continua de energía, esto se debe a que les proporciona una ventaja estratégica al permitirles manejar sus residuos orgánicos y al mismo tiempo obtener una fuente de gas para posteriormente generar energía para satisfacer sus necesidades diarias. [7] (Rojas Vélez, ventajas: biodigestores. blogspot, 2011)

El proyecto de evaluación de proceso de degradación anaerobia de la materia orgánica para generación de biogás y fertilizantes orgánicos por medio de un biodigestor a escala laboratorio, permitirá evaluar la capacidad de producción de biogás y fertilizantes orgánicos a partir de aguas residuales generadas por el beneficio del café por medio de un reactor diseñado y construido por el autor. El resultado final será el documento del proyecto de grado donde entregara resultados sobre la generación de gas por medio del reactor anaerobio. [8] (Cenicafe, TRATAMIENTO ANAEROBIO DE RESIDUOS DEL CAFE, 2013)

El hecho anterior y las implicaciones ambientales que generan, hacen completamente necesario estudiar la producción de biogás mediante el uso de un biodigestor escala de laboratorio, ya que por medio del uso de este tipo de reactores se obtiene como valor agregado el tratamiento de la efluente ya que es una de las tecnologías apropiadas y eficientes para el tratamiento biológico-secundario de los líquidos residuales con alto contenido de materia orgánica biodegradable

5. OBJETIVOS

5.1 GENERAL

Evaluar la capacidad de producción de biogás de un biodigestor anaerobio a escala laboratorio utilizando como biomasa residuos generados por el beneficio del café (cereza y aguas residuales).

5.2 ESPECÍFICOS

- Caracterizar los residuos orgánicos que serán sometidos al proceso de degradación anaerobia por medio del biodigestor.
- Determinar la cantidad de subproductos y residuos orgánicos generados por el beneficio del café.
- Diseñar y construir un biodigestor que esté acorde con las especificaciones técnicas tratadas en “Especificaciones Técnicas para el Diseño y Construcción de Biodigestores” (SEMARNAT, 2010)
- Evaluar el desempeño del biodigestor construido a escala laboratorio durante el proceso de descomposición anaerobia.

6. MARCO REFERENCIAL

6.1 MARCO TEORICO

6.1.1. BIODIGESTOR

Un biodigestor es un contenedor hermético que permite la descomposición de materia orgánica en condiciones anaeróbicas y facilita la extracción del gas resultante para su uso como energía. El biodigestor cuenta con una entrada para el material orgánico, un espacio para su descomposición, una salida con válvula de control para el biogás, salida para el material ya procesado. [10]

Estructura de un biodigestor

Existen muchas variaciones en el diseño del biodigestor. Algunos elementos que comúnmente se incorporan son:

- **Cámara de fermentación:** El espacio donde se almacena la biomasa durante el proceso de descomposición.
- **Cámara de almacén de gas:** El espacio donde se acumula el biogás antes de ser extraído.
- **Pila de carga:** La entrada donde se coloca la biomasa.
- **Pila de descarga:** La salida, sirve para retirar los residuos que están gastados y ya no son útiles para el biogás, pero que se pueden utilizar como abono (bioabono).
- **Agitador:** Desplaza los residuos que están en el fondo hacia arriba del biodigestor para aprovechar toda la biomasa.
- **Tubería de gas:** La salida del biogás. Se puede conectar directamente a una estufa o se puede transportar por medio de la misma tubería a su lugar de aprovechamiento. [10]

Factores influyentes en el funcionamiento de un biodigestor

- La temperatura es muy importante para la producción de biogás, ya que los microorganismos que realizan la biodigestión disminuyen su actividad fuera de estas temperaturas. La temperatura en la cámara digestiva debe ser entre los 20° C y 60° C; para optimizar el tiempo de producción es deseable mantener una temperatura entre los 30° C y 35° C.
- El nivel de acidez determina como se desenvuelve la fermentación del material orgánico. El pH del material debe tener un valor entre 6.5 y 7.5. Al estar fuera de este rango neutro la materia orgánica corre el riesgo de pudrirse, ya que se aumenta la actividad relativa de los microorganismos equivocados; esto normalmente produce un olor muy desagradable.
- El contenedor debe de estar perfectamente sellado para evitar que entre el oxígeno y de esta manera tener un procedimiento anaeróbico adecuado; también evita fugas del biogás.
- Debe de contener entre el 80% y 90% de humedad.
- Los materiales más comúnmente utilizados para producir biogás son el estiércol de vaca, caballo, puerco y humana, sin embargo, también se pueden otros materiales orgánicos.
- Para lograr una descomposición eficiente, la materia orgánica debe de ser en tamaños digeribles pues entre más chica más rápida la producción del biogás.
- Se deberá tener un equilibrio del carbono y el nitrógeno. [10]

Tipos de biodigestores

- **Biodigestor continuo:** Estos biodigestores son perfectos para personas con animales de granja en casa y personas con cultivos ya que se les da mantenimiento regularmente en pequeñas cantidades. El diseño continuo es el más común y apropiado para instalaciones chicas (tamaño hogar) ya que no requiere de conocimiento especializado ni maquinaria grande. [10]

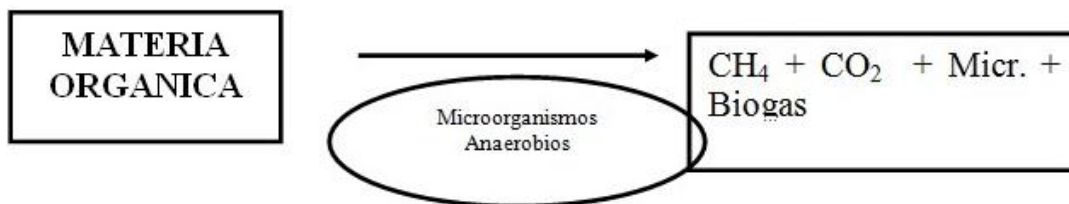
El biodigestor continuo tiene tres orificios; uno central que es cerrado después de hacer la carga inicial y es abierto después para limpiar el biodigestor (descarga total); un segundo orificio se usa para cargarlo diariamente en cantidades pequeñas con biomasa nueva; y un tercer orificio el cual permite sacar el bioabono periódicamente. El diseño de este biodigestor es favorable para que sea llenado con materiales blandos como el estiércol o material orgánico generado a partir de cultivos. [10]

- **Biodigestor discontinuo o de carga intermitente:** Este biodigestor tiene solamente un acceso por donde se carga y se descarga. Se carga una sola vez para ser llenado y posteriormente usado; la fermentación demora entre 2 y 4 meses (dependiendo del clima) y se descarga cuando concluye la fermentación. Aunque es completamente posible emplear este diseño a una escala chica, es más común en las operaciones municipales o industriales. En este grupo el biodigestor es llenado por única ocasión (se cambia toda la biomasa hasta que se termine el biogás) con la biomasa por lo que no hay cambio de materia orgánica que lo haga sostenible en la producción de biogás. Un metro cubico de biomasa produce aproximadamente medio metro de biogás y como no se le hace recargas de biomasa no hay manera de que genere más cantidad. [10]

6.1.2 BIODIGESTION

La Digestión Anaerobia es el proceso fermentativo que ocurre en el tratamiento anaerobio de las aguas residuales. El proceso se caracteriza por la conversión de la materia orgánica a metano y de CO₂, en ausencia de oxígeno y con la interacción de diferentes poblaciones bacterianas. [2]

Figura 1 Representación de la digestión anaerobia



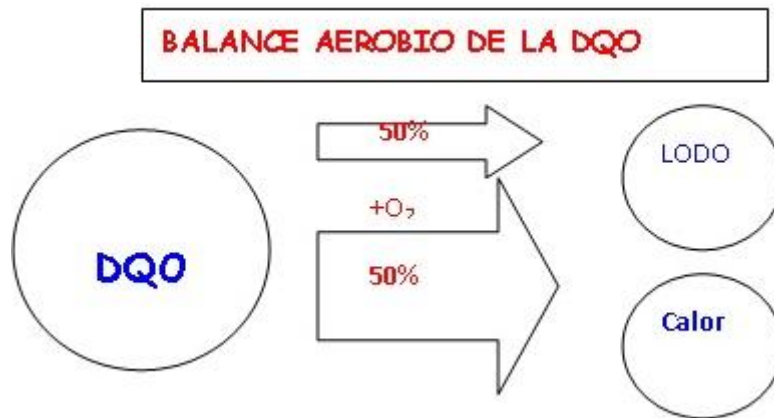
- **Generalidades de la digestión anaerobia**

En la reacción se puede apreciar lo que ocurre con la materia orgánica en el tratamiento anaerobio de aguas residuales, comparando el balance de DQO del tratamiento de la digestión aerobia y anaerobia (ver Figura 2 y 3), se observa la gran producción de lodos originados en la digestión aerobia (50%), respecto al 10 % de la anaerobia. Esto ocurre porque la digestión anaerobia es un proceso de transformación y no de destrucción de la materia orgánica, como no hay presencia de un oxidante en el proceso. En vista de que no hay oxidación, se tiene que la mayor parte de la DQO es convertida a metano (90 – 97 %), y una mínima parte en lodo (3 a 10%). En las reacciones bioquímicas que ocurren en la digestión anaerobia, solo una pequeña parte de la energía es liberada, mientras que la mayor parte de esa energía permanece como energía química en el metano producido. [11]

Figura 2 balance anaerobio de la DQO



Figura 3 Balance aerobio de la materia orgánica



Etapas

La digestión anaerobia de la materia orgánica involucra cuatro pasos de transformación:

- **Hidrólisis.** Este término indica la conversión de compuestos orgánicos complejos e insolubles (polisacáridos, proteínas y lípidos) en otros compuestos más sencillos y solubles en agua como los azúcares, los aminoácidos, los ácidos grasos y los alcoholes. Esta etapa es fundamental para suministrar los compuestos orgánicos necesarios para la estabilización anaerobia en forma que puedan ser utilizados por las bacterias responsables de las etapas siguientes. [11]
- **Fermentación Ácida (Acido génesis).** Los compuestos orgánicos sencillos generados en la etapa anterior son utilizados por las bacterias generadoras de ácidos, como resultado se produce su conversión en ácidos orgánicos volátiles, fundamentalmente en ácidos acético, propiónico y butírico. Esta etapa la pueden llevar a cabo bacterias anaerobias o facultativas. Hay una gran variedad de bacterias capaces de efectuar la etapa de formación de ácidos, y además esta conversión ocurre con gran rapidez. [11]

- **Acetogenesis.** Los productos de fermentación son convertidos a acetato, hidrógeno y dióxido de carbono. [11]
- **Metanogenesis.** Una vez que se han formado ácidos orgánicos, y acetato, una nueva categoría de bacterias entra en acción, y los utiliza para convertirlos finalmente en metano y dióxido de carbono. El metano es un gas combustible e inodoro, y el dióxido de carbono es un gas estable, que forma parte de la atmósfera.
Esta fase de la depuración anaerobia es fundamental para conseguir la eliminación de materia orgánica, ya que los productos finales no contribuyen a la DBO₅ o DQO del medio. [11]

A diferencia de lo que ocurría con la fase ácido génica, hay pocos microorganismos capaces de desarrollar la actividad metano génica, su metabolismo es más lento y, además, son mucho más sensibles a distintas condiciones ambientales.

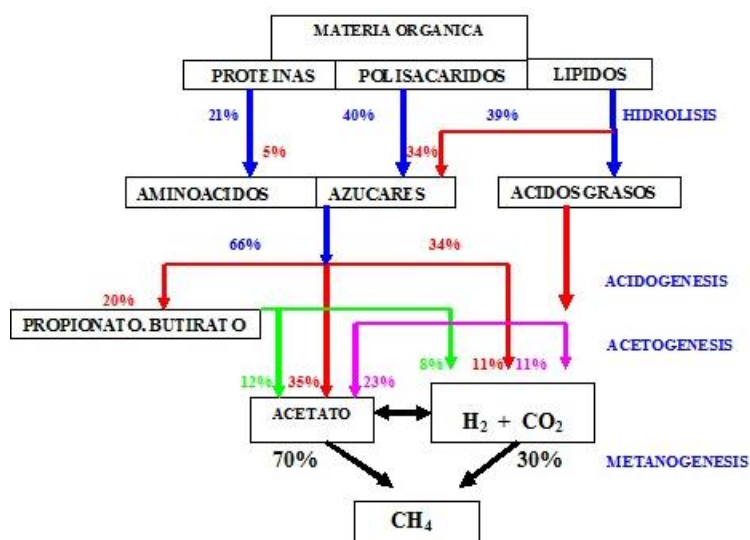
Los productos finales de la degradación son:

- Metano
- Bióxido de Carbono
- Ácido sulfhídrico
- Agua

De los dos grupos de bacterias referidos anteriormente, las bacterias “formadoras de metano” son las más importantes para el proceso anaerobio. [11]

En la figura No. 4 se muestra el proceso.

Figura 4 Etapas de la digestión anaerobia



Procesos ocurridos dentro de la digestión anaerobia

Deben ser tenidos en cuenta dos puntos importantes, con respecto a los diferentes procesos que ocurren durante la digestión anaerobia de la materia orgánica:

- 1- Según la Figura 4 se observa que solamente cerca del 30% de la materia orgánica afluente es convertida a metano por la vía hidrogenofílica, por lo tanto, una condición necesaria para obtener una óptima remoción de la materia orgánica en un sistema anaerobio, es que la metanogénesis se desarrolle eficientemente:
- 2- La fermentación ácida tiende a bajar el pH, debido a la producción de ácidos grasos volátiles (AGVs) y otros productos intermedios, mientras que la metanogénesis solo se desarrolla cuando el pH está cercano al neutro, por lo tanto, si por alguna razón la tasa de remoción de AGVs a través de la metanogénesis no acompaña a la tasa de producción de AGVs, puede surgir una situación de inestabilidad que baja significativamente el pH del sistema, causando la inhibición de las bacterias metanogénicas. Esta Acidificación del

sistema es una de las principales causas de falla operacional en los reactores anaerobios. Lo anterior puede ser evitado cuando se garantiza un equilibrio entre la fermentación ácida y la fermentación metanogénica, manteniendo una alta capacidad metanogénica y buena capacidad buffer en el sistema. [11]

En la Tabla 1, se consignan las principales reacciones:

Tabla 1 Reacciones Bioquímicas en la Digestión Anaerobia de la Materia Orgánica

TIPO DE REACCIÓN	ECUACIÓN
Fermentación de glucosa a Acetato	$\text{Glucosa} + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + 4\text{H}^+ + 4\text{H}_2$
Fermentación de glucosa a Butirato	$\text{Glucosa} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_4\text{H}_7\text{O}_2 + 2\text{HCO}_3^- + 3\text{H}^+ + 2\text{H}_2$
Fermentación del butirato a acetato e H_2	$\text{Butirato} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow ? 2\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ + \text{H}_2$
Fermentación del propionato a acetato	$\text{Propionato} + 3\text{H}_2 \rightarrow ? \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{HCO}_3^- + \text{H}^+ + \text{H}_2$
Acetogénesis a partir de H_2 y CO_2	$\text{HCO}_3^- + \text{H}^+ + \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + 2\text{H}_2\text{O}$
Metanogénesis a partir del CO_2 e H_2	$\text{HCO}_3^- + 4\text{H}_2 \rightarrow ? \text{CH}_4 + 3\text{H}_2\text{O}$
Metanogénesis a partir del acetato	$\text{Acetato} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow ? \text{CH}_4 + \text{HCO}_3^- + \text{H}^+$

Fuente: ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de Aguas Residuales 2002. Pág. 240.

6.1.3 BACTERIAS METANOGENICAS

Los microorganismos metano génicos pueden ser considerados como los más importantes dentro del consorcio de microorganismos anaerobios, ya que son los responsables de la formación de metano y de la eliminación del medio de los productos de los grupos anteriores, siendo, además, los que dan nombre al proceso general de biometanización. [12]

Las bacterias metano génicas son las responsables de la formación de metano a partir de sustratos mono carbonados o con dos átomos de carbono unidos por un enlace covalente: CH_3COOH , H_2 , CO_2 , CH_3OH y algunas metilaminas. Los organismos metano génicos se clasifican dentro del dominio Archaea, y, morfológicamente, pueden ser bacilos cortos y largos, cocos de varas ordenaciones celulares, células en forma de placas y metanógenos filamentosos, existiendo tanto Gram positivos como Gram negativos (Madigan et al., 1998). Todas las bacterias metano génicas que se han estudiado poseen varias

coenzimas especiales, siendo la coenzima M, la que participa en el paso final de la formación de metano (Madigan et al., 1998). [12]

Se pueden establecer dos grandes grupos de microorganismos, en función del substrato principal, dividiéndose en los hidrogeno tróficos, que consumen hidrógeno y fórmico, y los metilos tróficos o acetoclásticos, que consumen grupos metilos del acetato, metanol y algunas aminas (Cairó y París, 1988). Las principales reacciones metanogénicas se recogen en la Tabla 2.

Tabla 2 Principales reacciones metanogénicas y otras consumidoras de hidrogeno

Reacciones Consumidoras de Hidrogeno	Reacciones Metanogenicas
$4H_2 + H^+ + 2HCO_3^- \rightarrow Acetato + 4H_2O$	$4HCOOH \rightarrow CH_4 + 3CO_2 + 2H_2O \Rightarrow formico$
$4H_2 + 4S^{0-} \rightarrow 4HS^- + 4H^+$	$4CH_3OH \rightarrow 3CH_4 + CO_2 + 2H_2O \Rightarrow metanol$
$4H_2 + 2HCO_3^- + H^+ \rightarrow CH_4 + 3H_2O$	$4(CH_3)_3N + 6H_2O \rightarrow 9CH_4 + 3CO_2 + 4NH_3 \Rightarrow trimetilamina$
$4H_2 + 4SO_4^{2-} + H^+ \rightarrow HS^- + 4H_2O$	$Acetato + H_2O \rightarrow HCO_3^- + CH_4 \Rightarrow metanogenesis acetoclastica$
$4H_2 + 4fumarato \rightarrow 4succinato$	$2(CH_3)_2NH + 2H_2O \rightarrow 3CH_4 + CO_2 + 2NH_3 \Rightarrow dimetilamina$
$4H_2 + NO_3^- + 2H^+ \xrightarrow{\Delta} NH_4^{++} + 3H_2O$	

Fuente: (Stams, 1994 y fergusson et al. 1987).

La mayoría de los organismos metano génicos son capaces de utilizar el H₂ como aceptor de electrones, mientras que sólo dos géneros son capaces de utilizar el acetato (Ferguson y Mah, 1987). A pesar de ello, en ciertos ambientes anaerobios, éste es el principal precursor del metano, considerándose que alrededor del 70% del metano producido en los reactores anaerobios se forma a partir de acetato (Jeris et al., 1965, citado en Ferguson y Mah, 1987). Los dos géneros que tienen especies acetotróficas son Methanosarcina y Methanotherix, siendo el principal exponente Methanosarcina barkeri, que es capaz de crecer en diversos

substratos, entre los que están H_2 y CO_2 , acetato, metanol, metilaminas y CO (Cairó y París, 1988). [12]

6.1.4. BENEFICIO DE CAFÉ

El proceso de beneficio de café consiste en un conjunto de operaciones para transformar los frutos de café, en café pergamino de alta calidad física y en taza, el cual, por su estabilidad en un amplio rango de condiciones ambientales, es el estado en el cual se comercializa internamente este producto en Colombia. [13]

El proceso de beneficio de café lo realizan los caficultores, en su gran mayoría, en las instalaciones que tienen en sus fincas, a las que denominan beneficiadero, y donde realizan básicamente el recibo, despulpado, remoción de mucílago, lavado, diversas clasificaciones y secado. [13]

Residuos producidos por el beneficio del café

Residuos solidos

Durante el proceso de beneficio de café se generan subproductos orgánicos como lo son la pulpa (cacota) y el mucílago, la cacota es el residuo que se encuentra en mayor proporción y es rica en glucosa. [13]

Residuos líquidos

Las aguas residuales que se producen durante el proceso de beneficio húmedo del café, son biodegradables y su concentración de materia orgánica es alta, correspondiente a poderes contaminantes entre 60 y 240 veces superiores a las aguas residuales domésticas. [13]

6.1.5. Parámetros Para Evaluar El Desempeño De Un Biodigestor

Demanda Bioquímica de Oxígeno

Es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para oxidar (estabilizar) la materia orgánica biodegradable en condiciones aerobias. En condiciones normales de laboratorio, esta demanda se cuantifica a 20°C, el

ensayo estándar se realiza a cinco días de incubación y se conoce convencionalmente como DBO_5 , con valores numéricos expresados en $mg/L - O_2$. [15]

La DBO_5 es el parámetro más usado para medir la calidad de aguas residuales y superficiales, determinar la cantidad de oxígeno requerido con el propósito de estabilizar biológicamente la materia orgánica del agua, diseñar unidades de tratamiento biológico, evaluar la eficiencia de los procesos de tratamiento y fijar cargas orgánicas permisibles en fuentes receptoras. La ecuación de cálculo es la siguiente: [15]

Ecuación 1

$$Y_5 = L(1 - e^{-5k}) = L(1 - 10^{-5K})$$

Dónde:

y_5 = DBO_5 estándar – mg/L

L = $DBOUC$ – mg/L o DBO remanente para un tiempo t – mg/L

K = Constante de velocidad de reacción de la DBO_5 , base natural – d^{-1}

k = Constante de velocidad de reacción de la DBO_5 , base decimal – d^{-1}

Para calcular la DBO de 1 día, puede utilizarse la ecuación 2

Ecuación 2

$$L_1 = L * e^{-k}$$

Donde:

L_1 = DBO de un día – mg/L

L = $DBOU$ – DBO última – mg/L

(Esta DBO es aproximadamente el 80% del total)

La oxidación bioquímica es un proceso lento que requiere, matemáticamente, un tiempo infinito para su culminación. A 20 °C, valores típicos de K y k son respectivamente 0.23 d^{-1} y 0.10 d^{-1} . Otros valores típicos son los que se presentan en la tabla 3 [15]

Tabla 3 Valores típicos de k , K , L

Tipos de agua residual	k , d^{-1}	K , d^{-1}	L , mg/L
Doméstica débil	0,152	0,35	150
Doméstica fuerte	0,168	0,39	250
Efluente primario	0,152	0,35	75 – 150
Efluente secundario	0,05 – 0,10	0,12 – 0,23	10 – 75

Fuente: (Romero R., J., 2005, pág.: 40)

Para determinar el valor de la constante de reacción K a una temperatura diferente de 20°C se utiliza la ecuación 3 deducida de la relación clásica de Van't Hoff Arrhenius:

Ecuación 3

$$K_T = K_{20} \theta^{T-20}$$

Dónde:

K_T = Constante de reacción de la DBO para $T^\circ\text{C}$ – d^{-1}

K_{20} = Constante de reacción de la DBO para 20°C - d^{-1}

$\theta = 1,135$ para $T = 4 - 20^\circ\text{C}$

1,056 para $T = 20 - 30^\circ\text{C}$

1,047 para $T > 20^\circ\text{C}$

Determinación de la DBO

Procedimiento de los ensayos de dilución. Las botellas para incubación (de 250 a 300 ml de capacidad) con tapones de vidrio esmerilado son las más adecuadas. En la botella de DBO se debe colocar:

- La muestra, diluida si es necesario.
- Se añade agua de dilución para completar el volumen hasta la línea de capacidad señalada. Esta agua de dilución, en el caso de que sea necesario, contiene: Una siembra de microorganismos y una solución de nutrientes para los microorganismos.
- El pH en la solución de la botella debe estar cercano a 7,0 (neutro). Para cada botella de DBO se debe utilizar otra de control (blanco).

Incubación de las botellas a 20°C. Cada 24 horas se debe sacar la botella muestra y el blanco correspondiente de la incubadora y determinar el oxígeno disuelto en mg/L. Ramalho, Op.Cit. [15]

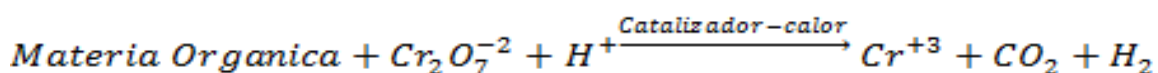
Demanda Química de Oxígeno

Se usa para medir el oxígeno equivalente a la materia orgánica oxidable químicamente mediante un agente químico oxidante fuerte, por lo general dicromato de potasio, en un medio ácido y alta temperatura. Para la oxidación de ciertos compuestos orgánicos resistentes se requiere la ayuda de un catalizador como el sulfato de plata. [16]

Compuestos orgánicos que interfieren con el ensayo, como los cloruros, se eliminan mediante HgCl₂.

La reacción principal puede presentarse de la siguiente forma:

Ecuación 4



El ensayo de determinación de DQO al dicromato se lleva a cabo calentando en condiciones de reflujo total una muestra de volumen determinado con un exceso conocido de dicromato potásico (K₂Cr₂O₇) en presencia de ácido sulfúrico (H₂SO₄), durante un periodo de dos horas. La materia orgánica en la muestra se oxida, como resultado se consume el dicromato de color amarillo que se reemplaza por el ion crómico color verdoso. Como catalizador se añade sulfato de plata (Ag₂SO₄). [16]

La medición se lleva a cabo por valoración del dicromato restante o por determinación colorimétrica del ion cromo producido, con un colorímetro fotoeléctrico o un espectrofotómetro. (Ramalho Op. cit.).

La DQO es útil como parámetro de concentración orgánica en aguas residuales industriales o municipales tóxicas a la vida biológica y se puede realizar en solo unas tres horas.

La interpretación correcta de los resultados de demanda de oxígeno, para la oxidación de la materia orgánica, mediante DBO o DQO, es problemática por los diferentes factores y variables que afectan dichos ensayos. En general, se espera que la DQO sea aproximadamente igual a la DBO última; pero, especialmente en aguas residuales industriales, existen factores que hacen que dicha afirmación no se cumpla. [16]

“Las aguas residuales domésticas crudas tienen DBO promedio de 250 a 1000 mg/L, con relaciones de DQO/DBO que generalmente varían entre 1,2 y 2,5” (Romero R., J., 2005)

6.2. MARCO CONCEPTUAL

A continuación, se mencionan los conceptos que tienen mayor importancia en el proyecto:

Biodigestor: Un biodigestor es un contenedor hermético que permite la descomposición de materia orgánica en condiciones anaeróbicas y facilita la extracción del gas. [17]

Aguas mieles: Agua residual producida a partir del beneficio del café, tiene gran cantidad de materia orgánica. [18]

Tratamiento biológico: El tratamiento biológico de aguas residuales se lleva a cabo mediante una serie de importantes procesos de tratamiento que tienen en común la utilización de microorganismos (entre los que destacan las bacterias) para llevar a cabo la eliminación de componentes solubles en el agua. [19]

Digestión anaerobia: La **Digestión Anaerobia** es el proceso fermentativo que ocurre en el tratamiento anaerobio de las aguas residuales, teniendo como resultado generación de CH₄ y Co₂. [20]

Bacterias metano génicas: Las bacterias metano génicas son un grupo especializado de bacterias anaerobias que descompone la materia orgánica y forma metano. [21]

Biogás: El biogás se obtiene a base de desechos orgánicos y está constituido por dióxido de carbono y metano. [22]

Metalogénesis: Es un proceso que realizan microorganismos conocidos como metanógenos (archaeas anaerobias estrictas) que usan el carbono (dióxido de carbono) como aceptor final de electrones para producir metano. [23]

Cacota de café: residuo orgánico generado a partir del despulpado del café también es conocido como cerecilla o pulpa de café. [24]

DQO: es la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica por medios químicos y convertirla en dióxido de carbono y agua. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mgO₂/l). [25]

DBO es la cantidad de oxígeno que los microorganismos, especialmente bacterias (aerobias o anaerobias facultativas: Pseudomonas, Escherichia, Aerobacter, Bacillus), hongos y plancton, consumen durante la degradación de las sustancias orgánicas contenidas en la muestra. [26]

Potencial de óxido reducción: es una forma de medir la energía química de óxido – reducción mediante un electrodo, convirtiéndola en energía eléctrica, el potencial de óxido reducción es positivo cuando se produce oxidación y negativo cuando se produce reducción. [27]

PH: Coeficiente que indica el grado de acidez o basicidad de una solución acuosa.

Lodos: materia orgánica después de ser sometida al biodigestor.

7. DISEÑO METODOLOGICO

Para el desarrollo del siguiente trabajo de grado, se llevarán a cabo las siguientes etapas:

7.1 Etapa 1: (Caracterización de Aguas miel Antes de Biodigestión).

La etapa 1 tiene como finalidad caracterizar el agua miel generada durante el beneficio y lavado de café. Esto con la finalidad de saber el estado inicial del agua que será sometida a la biodigestión y realizar una comparación con una normatividad de referencia. Para el caso particular del presente proyecto la normatividad de referencia para comparar los valores medidos al vertimiento se toma el capítulo VI, artículo 9 de la resolución 631 de 2015 (*parámetros físico químicos vertimientos provenientes de la agroindustria, beneficio de café*).

A continuación, se presenta una breve descripción sobre los parámetros a medir y la metodología utilizada.

7.1.1. pH

Uno de los parámetros más importantes para iniciar el proceso de biodigestión es el pH, ya que para la subsistencia de las bacterias dentro del reactor se necesita tener un pH cercano a 7. Para la medición de la acidez del efluente se utiliza un medidor de pH Marca WTW Modelo 340i.

7.1.2. Demanda Química de Oxígeno

Uno de los parámetros que más genera impactos en las fuentes hídricas del área de estudio, es la demanda química de oxígeno aportada por los vertimientos provenientes de las fincas cafeteras. Ya que sus procesos en gran mayoría contienen alta carga orgánica.

Para la determinación de la Demanda Química de Oxígeno se utiliza la Guía para la Determinación de la DQO en Fuentes Hídricas Superficiales. Relacionada en el **Anexo I** del presente proyecto. (Cordoba Mena , 2017)

Para el calculo de la DQO se utilizaron las siguientes ecuaciones.

Ecuación 5

$$[DQO] \frac{mg\ O_2}{l\ de\ muestra} = \frac{(V_{FAS\ blanco} - V_{FAS\ muestra}) * N_{FAS} * 8000}{V_{muestra}}$$

Ecuación 6

$$N_{FAS} = \frac{V_{solucion\ digestora} * N_{solucion\ digestora}}{V_{FAS\ (promedio)}}$$

Donde:

N: Normalidad

V: Volumen

[DQO]: Concentración Demanda Química de Oxígeno

7.1.3. Solidos Suspendidos Totales

Los vertimientos provenientes del proceso de beneficio y lavado del café se caracterizan por tener alta cantidad de materia orgánica. Esto es una oportunidad para el proyecto, ya que dicha materia orgánica funcionara como alimento para la inoculación de las bacterias dentro del reactor.

Para la determinación de los Solidos Suspendidos Totales se utiliza la guía del IDEAM Solidos Suspendidos Totales En Agua Secados a 103 – 105 °C. Relacionada en el ANEXO II del presente proyecto.

Ecuación 7

$$SST = \frac{(A - B) * 1000}{V}$$

Donde:

A: Peso inicial del filtro

B: Peso del filtro seco (después de filtrar la muestra)

V: Volumen de muestra filtrado en ml

7.1.4. Otros Parámetros

Otros parámetros que tienen una influencia indirecta con el proceso de Biodigestión son la Turbiedad, el índice de refracción y el % de azúcar los cuales fueron medidos con instrumentación de la universidad libre, y se relacionan en la siguiente tabla.

Tabla 4 Relación de equipos utilizados para monitoreo

RELACION DE EQUIPOS UTILIZADOS PARA MONITOREO	
PARAMETRO	EQUIPOS
pH	Medidor de pH Marca WTW Modelo 340i
DQO	ANEXO I Guía para la determinación de DQO
SST	Ver numeral 6,1,3
TURBIEDAD	Tubímetro de Campo Marca HANNA Modelo HI 93703
INDICE DE REFRACCION % de AZUCAR	Refractómetro Marca 920 WARSAWA

Fuente: Autor, 2018

7.2. Etapa 2: (Determinación de Subproductos en Beneficio y Lavado de Café).

Uno de los factores influyente en el diseño del biodigestor es la cantidad de agua miel a procesar en el reactor esto con el fin de determinar su magnitud.

Para esto es indispensable determinar la cantidad de agua residual que se genera por el beneficio y lavado de café en un determinado tiempo. La determinación de subproductos generados en el proceso de biodigestión se describe en las siguientes etapas:

ETAPA 1: Se debe medir la cantidad de cereza de café que se ingresara al beneficiadero, posterior a esto medir la cantidad de cacota que sale del proceso y la cantidad de café que entra al tanque de lavado. Esto para determinar cuántos kg de cacota y cuantos kg de semilla de café se producen por el beneficio de 1 kg de cereza de café.

ETAPA 2: para la determinación de la taza de consumo de agua en el lavado de café. Primero se debe pesar el café que se va a someter al lavado. Luego se agregara agua en volúmenes controlados hasta realizar dicha actividad. Esto con la finalidad de conocer la taza de consumo de agua para el lavado es decir cuántos galones de agua se utilizan para lavar 1 kg de café. La taza de consumo de agua se calcula por medio de la siguiente ecuación.

Ecuación 8

$$x_{consumo} = \frac{V_{H2O \text{ lavado}}}{m_{café \text{ lavado}}}$$

Donde:

$x_{consumo}$ = Taza de consumo de agua en el lavado de café en gal/kg

$V_{H2O \text{ lavado}}$ = Volumen utilizado en el proceso de lavado de café en gal

$m_{café \text{ lavado}}$ = Masa de café lavada en kg

ETAPA 3: una vez realizado el lavado del café se capta toda el agua residual proveniente del tanque de lavado para determinar el volumen de agua miel que se genera a partir de la masa café lavado. Esto para determinar la taza de producción de agua residual, es decir cuánto volumen agua miel se produce a partir del lavado de 1 kg de café. La taza de generación de agua miel se calcula por medio de la siguiente ecuación.

Ecuación 9

$$x_{agua \text{ miel}} = \frac{V_{agua \text{ miel}}}{m_{café \text{ lavado}}}$$

Donde:

$x_{agua\ miel}$ = Taza de generación de agua miel en el lavado de café en gal/kg

$V_{agua\ miel}$ = Volumen de agua miel generada en el proceso de lavado de café en gal

$m_{café\ lavado}$ = Masa de café lavada en kg

ETAPA 4: para el desarrollo del proyecto es de importancia determinar el caudal de salida del efluente residual para esto primero se establece un punto a la salida del tanque de lavado, posterior a esto se captan diferentes volúmenes y el tiempo que tarda en completarse el mismo buscando hallar un caudal medio de salida. Para el cálculo del caudal de salida se utiliza la siguiente ecuación.

Ecuación 10

$$Q_{salida} = \frac{V_{agua\ miel\ promedio}}{t_{ll\ promedio}}$$

Donde:

Q_{salida} = Caudal de salida promedio del tanque de lavado en gal / seg

$V_{agua\ miel\ promedio}$ = Volumen promedio de agua miel captada en gal

$t_{ll\ promedio}$ = tiempo promedio que dura la captación en seg

Finalmente, con los resultados obtenidos se realiza un balance de masa del proceso de beneficio y lavado de café tomando como base de cálculo 1 kg de cereza de café ingresado al beneficiadero.

7.3. Etapa 3: (Diseño, Construcción y Puesta en Marcha del Biodigestor).

7.3.1. DISEÑO

Para el diseño del biodigestor se tendrá como línea base el informe “Especificaciones Técnicas para el Diseño y Construcción de Biodigestores”, haciendo algunas modificaciones físicas en la estructura del sistema, debido a que este manual tiene como finalidad diseñar biodigestores tipo “laguna cubierta los

cuales tienen volúmenes superiores a 12 m³. Mientras que este proyecto busca obtener como producto un biodigestor de capacidad inferior a 1m³; con el fin de que sea maniobrable en el laboratorio para distintos análisis en cuanto a su funcionamiento.

Se escogió este informe para el diseño del biodigestor principalmente porque su país de elaboración presenta similitud en diferentes situaciones y variables socio-ambientales, con las posibles condiciones del lugar donde se construirá el biodigestor.

A continuación, se presentan las descripciones de los parámetros de diseño establecidos y sus respectivos cálculos.

Volumen Útil (Agua miel): Consiste en la capacidad máxima del reactor para almacenar agua miel. Teniendo en cuenta que 1 carga de café es igual a 125 kg, se tomara este valor como base para el cálculo del volumen máximo de agua miel a biodigerir. La siguiente ecuación determina el volumen máximo de agua miel que se podrá someter a la biodigestión.

Ecuación 11

$$V_{util} = m_{cafe} * x_{agua\ miel}$$

Donde:

V_{util} = Volumen Útil Biodigestor en gal

m_{cafe} = Masa de café lavada en kg

$x_{agua\ miel}$ = Taza de generación de agua miel en el lavado de café en gal/kg

Volumen teórico reactor: Consiste en el volumen que debe tener el reactor para almacenar tanto el agua miel a biodigerir como el gas que se producirá. Para determinar el volumen teórico del reactor se utilizará como proporción; 80% del volumen total para el agua miel someter al proceso, guardando el 20% restante para el almacenamiento del biogás. Esta proporción es seleccionada por el autor para el presente proyecto. Para el cálculo del volumen total se utiliza la siguiente ecuación.

Ecuación 12

$$V_{teorico} = \frac{V_{util}}{0,8}$$

Donde

$V_{teorico}$ = Volumen total teórico del reactor en gal

V_{util} = Volumen útil biodigestor en gal

Volumen de construcción: teniendo en cuenta los productos que se encuentran en el mercado y el volumen teórico reactor se determina el tanque apto para realizar el montaje.

Volumen de construcción corregido: Consiste en el volumen total del sistema de biodigestión incluyendo los volúmenes de agua almacenados en los accesorios. Estos volúmenes se encuentran en el **Anexo III “Tabla de relaciones volumétricas vs alturas para el biodigestor”**

Volumen de operación: a partir del volumen de construcción corregido se calcula el volumen de operación con la siguiente ecuación.

Ecuación 13

$$V_{operacion} = V_{CONSTRUCCION CORREGIDO} * 0,8$$

Donde:

$V_{operacion}$ = Volumen máximo de agua miel para operación del biodigestor en gal.

$V_{construccion corregido}$ = Volumen Total del biodigestor incluyendo agua miel almacenada en accesorios en gal.

Caudal de entrada: el caudal de entrada al biodigestor será igual al caudal de salida del tanque de lavado.

Tiempo de llenado: es el tiempo que tarda en llenarse el biodigestor hasta su punto máximo de operación. Se calcula por medio de la siguiente ecuación.

Ecuación 14

$$t_{llenado} = \frac{V_{operacion}}{Q_{entrada}}$$

Donde:

$t_{llenado}$ = tiempo de llenado en seg

$V_{operacion}$ = Volumen de operación en gal

$Q_{entrada}$ = caudal de entrada en gal/seg

Altura sobre la Superficie del Punto Máximo de Operación: es la altura que existe entre la base del biodigestor y la altura máxima de operación, se determina por medio de la tabla relacionada en el **Anexo III “Tabla de relaciones volumétricas vs alturas para el biodigestor”**.

Volumen de Reserva: se refiere al volumen que continúa almacenado en el reactor después de vertida la primera carga de agua miel biodegrada. Se calcula teniendo en cuenta que del 80% del volumen de operación debe tenerse como reserva entre el 10 % y el 20 %. Esto buscando la inoculación de bacterias para próximas operaciones y el 70 % se debe verter. Para esto se utiliza la siguiente ecuación. (SEMARNAT, 2010)

Ecuación 15

$$V_{reserva} = V_{operacion} * 0,1$$

$$V_{reserva} = V_{operacion} * 0,2$$

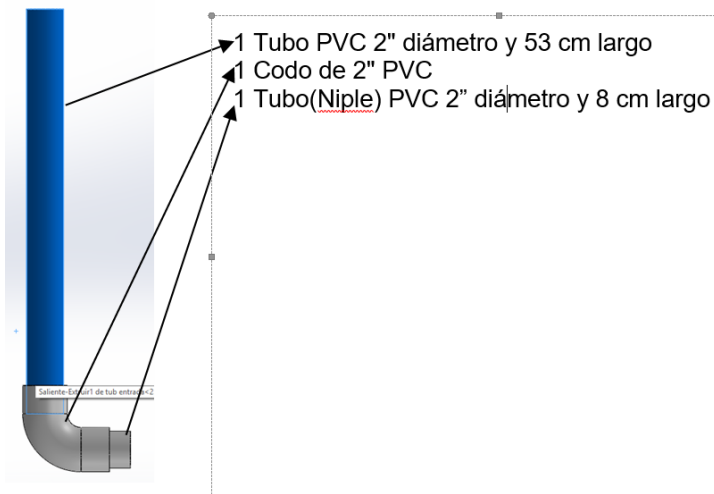
Tiempo de Operación: el tiempo de operación es establecido por el autor y debe estar entre 1 y 6 meses.

7.3.2. Construcción

El biodigestor estará compuesto por 5 partes, las cuales se describen a continuación

Entrada de fluido: es el punto de conexión entre la salida del tanque de lavado y el biodigestor. A continuación, se puede observar como debe ser construido y la relación de los materiales necesarios.

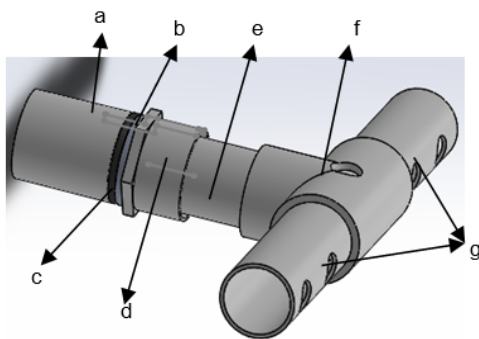
Figura 5 Representación sistema de entrada de agua al biodigestor



Fuente: Autor, 2017

Dispersión: cumple con la función de distribuir el fluido de entrada por toda la superficie del biodigestor, esto con la finalidad de evitar puntos de acumulación. A continuación, se puede observar como debe ser construido y la relación de los materiales necesarios.

Figura 6 Representación sistema de dispersión interna en el biodigestor

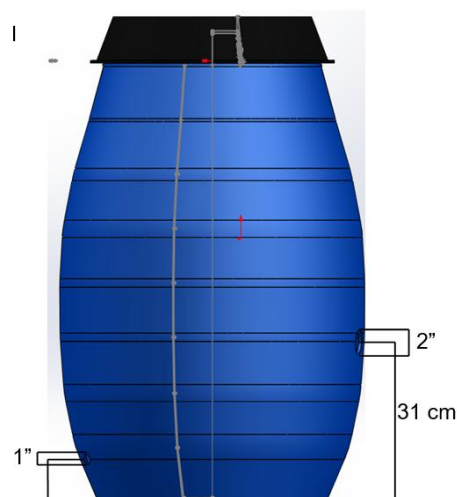


- a- 1 adaptador macho PVC 2"
- b- 1 arandela PVC 2"
- c- 1 empaque caucho 2"
- d- 1 adaptador hembra PVC 2"
- e- 1 tubo (niple) PVC 2" diámetro y 8,30 cm largo
- f- 1 t PVC 2"
- g- 2 tubos PVC 2" diámetro y 14,90 cm de largo (con perforaciones de 2 centímetros de diámetro)

Fuente: Autor, 2017

Almacenamiento: consiste en la parte externa del biodigestor y recipiente donde se almacenará el agua miel a degradar. A continuación, se puede observar una representación gráfica del mismo.

Figura 7 Representación gráfica del contenedor con el cual se construirá el biodigestor



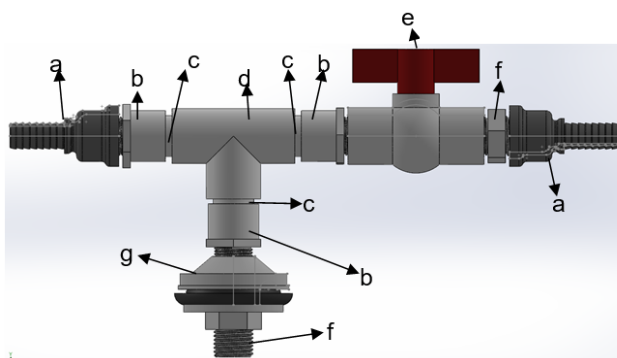
1 caneca en polietileno de alta densidad con capacidad para 55 galones con tapa con las siguientes modificaciones:

- una perforación de 1" de diámetro a 10 cm de altura
- una perforación de 2" de diámetro a 31 cm de altura

Fuente: Autor, 2017

Salida de Gas: es el lugar por donde se hará la emisión del biogás producido dentro del biodigestor. A continuación, se puede observar como debe ser construido y la relación de los materiales necesarios.

Figura 8 Representación sistema de salida de gas

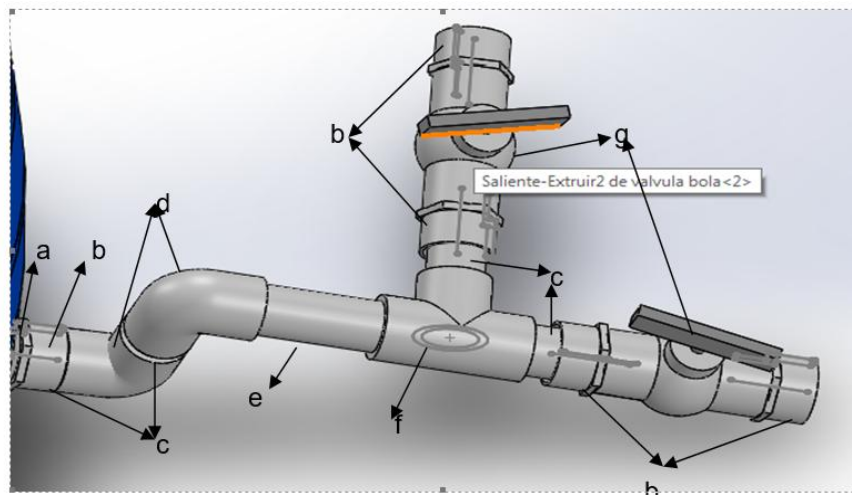


- a- 2 acople espina de pescado de ½" a 4 mm
- b- 3 adaptadores macho pvc ½"
- c- 3 tubos (niple) ½" diámetro y 8.3 cm de largo
- d- 1 t ½"
- e- 1 válvula de bola de ½"
- f- 2 uniones doble macho pvc ½"
- g- 1 adaptador para caneca de 1"

Fuente: Autor, 2017

Salida de Flujo degradado: es la parte del biodigestor por donde se sacará el fluido biodegradado por medio del biodigestor anaerobio. A continuación, se puede observar como debe ser construido y la relación de los materiales necesarios.

Figura 9 Representación salida de fluido degradado



- a – 1 adaptador para caneca de 1"
- b – 5 adaptadores macho PVC 1"
- c – 4 tubos (niple) PVC de 1" diámetro y 10 cm de largo
- d – 2 codos PVC de 1"
- e – 1 tubo (niple) PVC de 1" diámetro y 15 cm de largo
- f – 1 T PVC de 1"
- g – 2 válvulas de bola de 1"

Fuente: Autor, 2017

7.3.3. Puesta en Marcha

El biodigestor será puesto en marcha una vez se haya construido, funcionará con aguas mieles provenientes del beneficio de café, siguiendo las determinaciones dadas en los numerales anteriores.

Tendrá un tiempo de funcionamiento de 2 meses donde se hará una caracterización inicial al producto a biodegradar, pasados dos meses se volverá a caracterizar el producto saliente. Esto buscando determinar cómo afecta los parámetros físico - químicos del efluente residual del lavado del café.

7.4. Etapa 4: (Evaluación del Desempeño del biodigestor).

Para evaluar el funcionamiento del biodigestor se medirán los mismos parámetros que en el **numeral 6.1** del presente proyecto. Posterior a esto se determinará el cumplimiento de lo establecido en el **CAP. VI, ART 9 de la RESOLUCIÓN 631 de 2015**. Posterior a esto se debe comparar los resultados obtenidos en este numeral y en el **numeral 6.1** para determinar los % de remoción por la degradación anaerobia realizada por el biodigestor.

Por último, se hará un análisis sobre la generación de gas teniendo en cuenta variables como; Temperatura, volumen de gas, presión del sistema y pH.

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1. Etapa 1: (Caracterización de Aguas miel Antes de Biodigestor).

Se realizan 3 muestras de aguas miel en el punto de salida del tanque de lavado de café para realizar análisis. Buscando determinar el estado inicial de la materia a degradar. Posterior a esto se almacena a temperatura inferior a 5°C para inactivar posible actividad microbiana. Para consecutivamente realizar los análisis correspondientes en los laboratorios de la universidad libre. A continuación, se sintetizan los resultados obtenidos y los reportes de laboratorio para la determinación de DQO y SST.

8.1.1. Determinación DQO

Para la determinación de la DQO se utiliza el procedimiento descrito en el **numeral 7.1.2** y se obtienen los resultados presentados en la **Tabla 5 “Reporte de Laboratorio DQO”**.

Tabla 5 "Reporte de Laboratorio DQO"

Reporte de laboratorio DQO										
Tipo de muestra	Volumen Agua residual (ml)	Volumen agua destilada (ml)	factor de dilucion	vol solucion digestora (ml)	volumen H2SO4 (ml)	gotas ferroina	vol FAS (ml)	N FAS	DQO (mg de O2/l de muestra)	DQO(mg de O2/l de muestra) promedio
Blanco	2,5	2,5	N/A	1,5	3,5	2	3,5			
1 muestra antes de biodigestion	2,5	30	13	1,5	3,5	2	1,5	0,04285714	3565,7	3526,1
2 muestra antes de biodigestion	3	35	12,7	1,5	3,5	2	1		3619,0	
3 muestra antes de biodigestion	3,5	45	13,9	1,5	3,5	2	1		3393,6	

Fuente: Autor, 2017

8.1.2. Determinación Solidos Suspendidos Totales

En la Determinación de los Solidos Suspendidos Totales presentes en las muestras se utiliza como referente procedimental la guía del IDEAM para determinación de SST tal como se describe en el **numeral 7.1.3**. Y se obtienen los resultados presentados en la **Tabla 6 "Reporte de Laboratorio Solidos Suspendidos Totales"**.

Tabla 6"Reporte de Laboratorio Solidos Suspendidos Totales"

Reporte de laboratorio Solidos Suspendidos Totales					
# Muestra	Vol Muestra (ml)	Peso Inicial Filtro (mg)	Peso Final Filtro (mg)	SST (mg/l)	SST Promedio (mg/l)
1 muestra antes de biodigestion	10	842,7	867,0	2430	2398,33333
2 muestra antes de biodigestion	20	852,1	900,2	2405	
3 muestra antes de biodigestion	30	851,2	922,0	2360	

Fuente: Autor, 2017

8.1.3 Determinacion de Indice de Refraccion y % de Azucar a Diferentes Temperaturas.

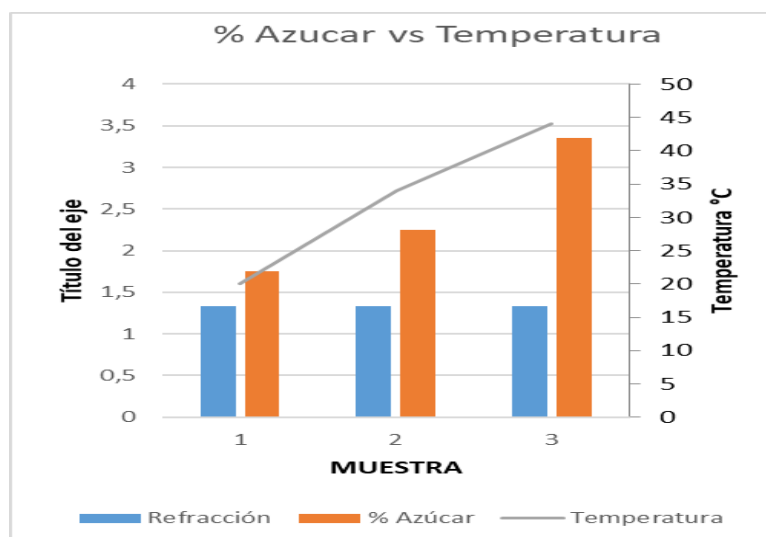
Para determinar el índice de refracción y el % de azúcar, primero se tomó una muestra de 10 ml luego se colocó en una plancha de calentamiento KIKA RT 15 Werke por un tiempo de 10 minutos a velocidad de revoluciones 4 Mot, con diferentes temperaturas. Luego se toma 1 mililitro de muestra y se lleva al refractómetro para medir el % de Azúcar y la refracción del agua de lavado antes de ser sometida al proceso de biodigestión. Obteniéndose los resultados que se presentan en la **Tabla 7 “Tabla reporte de índice de refracción y % de azúcar”**.

Tabla 7 “Tabla reporte de índice de refracción y % de azúcar”

Tabla reporte de Índice de refracción y % de azúcar				
Muestra	Temperatura (°C)	Volumen de muestra (ml)	% Azúcar	Índice de Refracción
1	20	1 ml	1,75	1,3355
2	34	1 ml	2,25	1,3362
3	44	1 ml	3,35	1,337

Fuente: Autor, 2017

Grafica 1 % de Azúcar vs Temperatura



Fuente: Autor, 2017

A partir de la **Grafica 1 % de Azúcar vs Temperatura** se puede analizar; que a medida que aumenta la temperatura se nota un incremento en el porcentaje de glucosa y de refracción, es algo positivo porque indica que a medida que aumente la temperatura habrá una mejora en el proceso fermentativo ya que generara una dilución de azúcares provenientes de la materia orgánica contenida en el agua residual ayudando esto a acelerar el proceso metanogenico.

8.1.4. Estado Inicial de Aguas Miel y Cumplimiento Normativo

A partir de los resultados obtenidos en el presente numeral del proyecto y lo descrito en el **Cap. VI, ART 9 de la Resolución 631 de 2015** en cuanto a vertimientos provenientes del beneficio de café se realiza la **Tabla 8. Caracterización Agua Residual Antes de ser Sometida a Biodigestor**. Donde se muestran los valores medidos para cada parámetro, sus respectivos valores de referencia y por consiguiente el cumplimiento legal de cada uno.

Tabla 8 Caracterización Agua Residual Antes de ser Sometida a Biodigestor.

CARACTERIZACION AGUA RESIDUAL ANTES DE SER SOMETIDA A BIODIGESTION						
PARAMETRO	UNIDAD	VALOR DE REFERENCIA RES 631 DE 2015	VALOR MEDIDO		CUMPLIMIENTO	METODO
			3 MUESTRAS	PROMEDIO		
pH	Unidades de pH	(5-9)	5	5	no	pHmetro
			5			
			5			
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO DQO	mg/L O2	3000	3566	3526	no	VER ANEXO I
			3619			
			3394			
SOLIDOS SUPENDIDOS TOTALES	mg/L	800	2430	2398	no	VER ANEXO II
			2405			
			2360			
TURBIEDAD	NTU	NA	91	88	NA	Turbimetro
			81			
			93			

Fuente: Autor, 2017

8.2. Etapa 2: (Determinación de Subproductos en Beneficio y Lavado de Café).

A partir del procedimiento descrito en el numeral 7.2 se recolecta la información sintetizada en la **Tabla 9. Reporte de generación de residuos provenientes del beneficio y lavado del café en la finca el recreo vereda santa marta municipio mesitas del colegio**. La cual será utilizada como insumo para calcular la taza de consumo de agua en el beneficio y lavado de café. Por otra parte, la taza de generación de agua miel en el lavado de café y por último el caudal promedio de salida del tanque de lavado de café.

Adicionalmente permitirá obtener los datos necesarios para realizar el balance de materia del proceso de beneficio y lavado de café, teniendo como base de cálculo 1 kg de cereza de café.

Tabla 9 REPORTE DE GENERACION DE RESIDUOS PROVENIENTES DEL BENEFICIO Y LAVADO DEL CAFÉ EN LA FINCA EL RECREO VEREDA SANTA MARTA MUNICIPIO MESITAS DEL COLEGIO

REPORTE DE GENERACION DE RESIDUOS PROVENIENTES DEL BENEFICIO Y LAVADO DEL CAFÉ EN LA FINCA EL RECREO VEREDA SANTA MARTA MUNICIO MESITAS DEL COLEGIO						
FECHA	ACTIVIDAD	CANTIDAD DE CEREZA DE CAFÉ (Kg)	CANTIDAD CACOTA DESPUES DE BENEFICIO (kg)	CANTIDAD SEMILLA DE CAFÉ (café beneficiado) (Kg)	CANTIDAD AGUA AGREGADA PARA LAVADO (gal)	VOLUMEN AGUA MIEL (gal)
26/11/2017	BENEFICIO Y LAVADO	140	84	54	13	18
11/12/2017	BENEFICIO Y LAVADO	210	126	82	19	28
21/12/2017	BENEFICIO Y LAVADO	85	49	37	9	13
14/01/2018	BENEFICIO Y LAVADO	125	75	49	12	17
26/01/2018	BENEFICIO Y LAVADO	75	43	31	7	11
Suma		635	377	253	60	86
Promedio		127	75	51	12	17

Fuente: Autor, 2018

Taza de Consumo de agua en el lavado de café

$$x \text{ consumo} = 0,236 \frac{\text{gal h}_2\text{o}}{\text{kgcafé lavado}}$$

Taza de generación de agua miel en el lavado de café

$$x \text{ agua miel} = 0,313 \frac{\text{gal agua miel}}{\text{kgcafé lavado}}$$

Caudal promedio de salida del tanque de lavado de café

$$Q_{\text{entrada}} = 0,0301 \frac{\text{gal agua miel}}{\text{seg}}$$

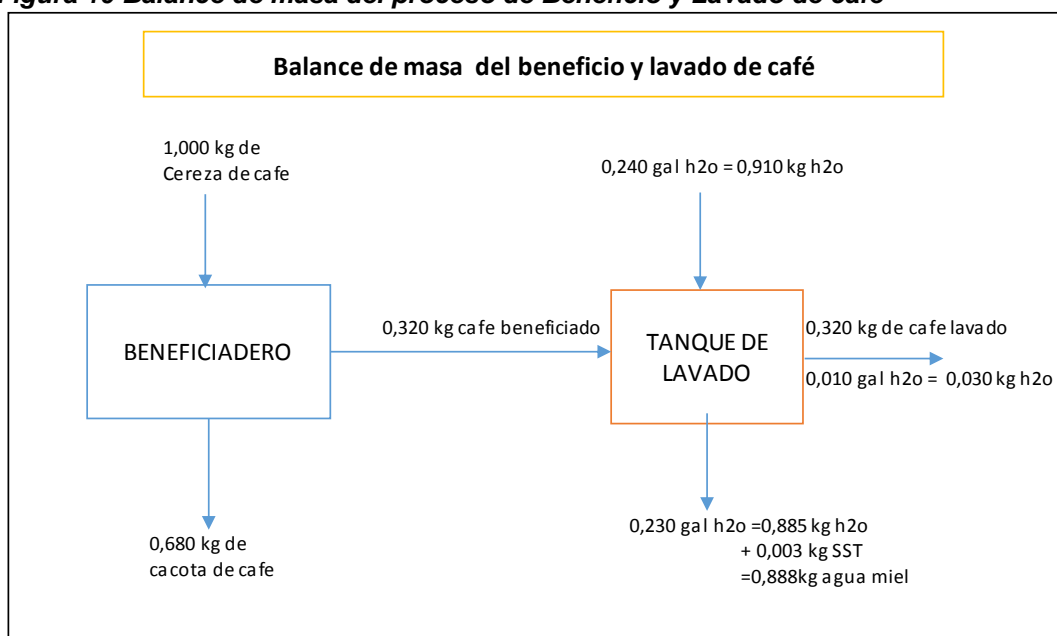
A continuación, se presenta la tabla con los datos necesarios para realizar el balance de materia del proceso de café y el diagrama con el mismo.

Tabla 10 *Tabla balance de materia del beneficio y lavado de café*

Balance de masa del beneficio y lavado de café					
base de calculo	cacota generada en beneficio kg	café beneficiado kg	semilla de café kg	agua consumida (gal)	agua miel generada (gal)
1 kg de cereza de café	0,68	0,32	0,32	0,24	0,24

Fuente: Autor, 2018

Figura 10 *Balance de masa del proceso de Beneficio y Lavado de café*



Fuente: Autor, 2018

8.3. Etapa 3: (Diseño, Construcción y Puesta en Marcha del Biodigestor).

Diseño: a partir del procedimiento descrito en el **numeral 7.3.1**. Se calculan los parámetros de diseño obteniendo los siguientes resultados:

a. Volumen Útil:

$$V_{util} = 42,272 \text{ gal}$$

b. Volumen Teórico Reactor:

$$V_{teorico} = 52,84$$

- c. Volumen de Construcción:** teniendo en cuenta el volumen teórico que debe tener el reactor y los productos disponibles en el mercado se selecciona una caneca de 55 galones con tapa.

- d. Volumen de Construcción Corregido:** tomando el volumen calculado en el Anexo III “Tabla de relaciones volumétricas vs alturas para el biodigestor”.

$$V_{construccion\ corregido} = 56,6 \text{ gal}$$

e. Volumen de Operación

$$V_{operacion} = 45,28 \text{ gal}$$

f. Caudal de Entrada

$$Q_{entrada} = 0,0301 \frac{\text{gal agua miel}}{\text{seg}}$$

g. Tiempo de Llenado

$$t_{llenado} = 1504 \text{ seg} = 25 \text{ min}$$

h. Altura Sobre la Superficie del Punto Máximo de Operación

$$h_{max} = 0,695 \text{ m} \text{ “según tabla Anexo III”}$$

i. Volumen de Reserva

Entre 4,528 gal y 9,056 gal

j. Tiempo de operación

2 meses

k. Volumen de Gas

$$V_{gas} = 11,3$$

Por otra parte, para la fase de diseño se construyen solidos del biodigestor, los cuales se pueden ver en el archivo **ANEXO IV “VIDEO SOLIDO BIODIGESTOR”**. Para la construcción de estos solidos se utiliza el Software SOLID WORKS el cual es proveído por la universidad libre.

Construcción: para la construcción del biodigestor se tienen en cuenta los resultados obtenidos en la fase de diseño. Por otra parte, se toma como referente visual el sólido encontrado en el **ANEXO IV “VIDEO SOLIDO BIODIGESTOR”**, el cual fue elaborado en su totalidad por el autor. A continuación, se muestra evidencia fotográfica de la construcción del biodigestor.

fotografía 1. Autor realizando carga inicial al sistema para inocular bacterias



Fuente: Autor, 2018

Fotografía 2. Biodigestor Construido



Fuente: Autor, 2018

PUESTA EN MARCHA: para la puesta en marcha del biodigestor, se realiza el día 26 de noviembre de 2017 donde se agregan inicialmente 18 galones de agua miel. Posterior a esto el día 11 de diciembre del mismo año se agregan 19 galones de agua miel. Por último, el día 21 de diciembre de 2017 se completa el volumen de operación.

8.4. Etapa 4: (Evaluación del Desempeño del biodigestor).

Una vez finalizados los dos meses de funcionamiento del biodigestor se procede a hacer la evaluación del desempeño del mismo. Para dar cumplimiento a esta etapa se realizan 3 acciones las cuales son descritas en los **numerales 8.4.1, 8.4.2. Y 8.4.3.**

8.4.1 Caracterizar el agua miel que ya fue degradada por el biodigestor

Los parámetros evaluados en la caracterización al agua miel que ya fue sometida a degradación, son los mismos que se evaluaron antes de entrar al proceso. Los cuales se mencionan a detalle en el **numeral 8.1**. Y sus resultados se presentan a continuación.

Determinación DQO: Para la determinación de la DQO del efluente residual del proceso de degradación se utiliza el procedimiento especificado en el **ANEXO I “Guía para la Determinación de la DQO en Fuentes Hídricas Superficiales”**. (Cordoba Mena , 2017)

A continuación, en las **Tabla 11 Reporte de Laboratorio DQO muestras después de degradación anaerobia**, se muestran los resultados obtenidos al realizar el análisis de laboratorio para determinar la DQO de la muestra.

Tabla 11 Reporte de Laboratorio DQO muestras después de degradación anaerobia

Reporte de laboratorio DQO										
Tipo de muestra	Volumen Agua residual (ml)	Volumen agua destilada (ml)	factor de dilucion	vol solucion digestora (ml)	volumen H2SO4 (ml)	gotas ferroina	vol FAS (ml)	N FAS	DQO (mg de O2/l de muestra)	DQO(mg de O2/l de muestra) promedio
Blanco	0	4	N/A	1,5	3,5	2	4	0,0375		1703,8
1 muestra despues de biodigestion	2	10	6,0	1,5	3,5	2	2		1800,0	
2 muestra despues de biodigestion	2,5	15	7,0	1,5	3,5	2	2		1680,0	
3 muestra despues de biodigestion	4	25	7,3	1,5	3,5	2	1		1631,3	

Fuente: Autor, 2018

Solidos Suspendidos Totales: para hallar la cantidad de solidos suspendidos totales en un volumen determinado de agua se sigue el procedimiento descrito en el **ANEXO II Guía IDEAM para determinar Solidos Suspendidos Totales En Agua Secados a 103°C - 105° C**. A continuación, en las **Tabla 12 Reporte de laboratorio Solidos Suspendidos Totales** se muestran los resultados obtenidos al realizar el análisis de laboratorio para determinar SST presentes en las muestras.

Tabla 12 Reporte de laboratorio Solidos Suspendidos Totales

Reporte de laboratorio Solidos Suspendidos Totales					
# Muestra	Vol Muestra (ml)	Peso Inicial Filtro (mg)	Peso Final Filtro (mg)	SST (mg/l)	SST Promedio (mg/l)
1 muestra despues de biodigestion	10	862,9	869,1	620,0	656,7
2 muestra despues de biodigestion	20	827,3	841,1	690,0	
3 muestra despues de biodigestion	30	857,6	877,4	660,0	

Fuente: Autor, 2018

Indice de Refraccion y % de Azucar a Diferentes Temperaturas: Para el desarrollo de este numeral se sigue el procedimiento descrito en el numeral 8.1.3.

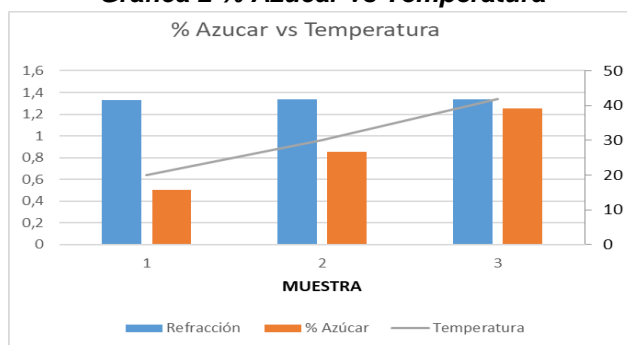
Se obtienen los resultados sintetizados en la **Tabla 13. Índice de Refracción y % de Azúcar**

Tabla 13 Índice de Refracción y % de Azúcar

Tabla reporte de Índice de refracción y % de azúcar				
Muestra	Temperatura	Vol de muestra ml	% Azúcar	Refracción
1	20	1 ml	0,5	1,3335
2	30	1 ml	0,85	1,334
3	42	1 ml	1,25	1,335

Fuente: Autor, 2018

Grafica 2 % Azúcar vs Temperatura



Fuente: Autor, 2018

En la **Grafica 2 % de Azúcar vs Temperatura** se muestran de manera gráfica los resultados expuestos en la **Tabla 13 índice de refracción y % de azúcar**. De la cual se puede interpretar; a medida que aumenta la temperatura se nota un incremento en el porcentaje de glucosa y de refracción.

Estado del Vertimiento y Cumplimiento Normativo Despues de Degradacion:

Una vez realizados los monitoreos a los parametros mencionados anteriormente se procede a realizar un analisis sobre el cumplimiento o incumplimiento normativo respecto a la Resolucio 631 de 2015. Esta informacion se sintetiza en la **Tabla 14 Estado del Vertimiento y Cumplimiento Normativo Después de Degradación**, donde se mencionan el parametro, valor de referencia, valor medido y el metodo o equipo, por el cual se midio cada parametro.

Tabla 14 Estado del Vertimiento y Cumplimiento Normativo Después de Degradación

CARACTERIZACION AGUA RESIDUAL DESPUES DE SER SOMETIDA A BIODIGESTION DURANTE 2 MESES						
PARAMETRO	UNIDAD	VALOR DE REFERENCIA RES 631 DE 2015	VALOR MEDIDO		CUMPLIMIENTO	METODO
			3 MUESTRAS	PROMEDIO		
pH	Unidades de pH	(5-9)	6,59	6,78	si	pHmetro
			6,92			
			6,82			
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO DQO	mg/L O2	3000	1800,0	1703,8	si	VER ANEXO II
			1680,0			
			1631,3			
SOLIDOS SUPENDIDOS TOTALES	mg/L	800	620,0	656,666667	si	VER ANEXO II
			690,0			
			660,0			
TURBIEDAD	NTU	NA	16,4	14,7	NA	Turbimetro
			12,8			
			14,8			

Fuente: Autor 2018

8.4.2. Funcionamiento del Biodigestor Durante el Periodo de Operación

El biodigestor construido, tuvo un tiempo de operación de dos meses entre el 26 de noviembre de 2017 y el 26 de enero del 2018. En este periodo se tomaron reportes sobre la producción de gas en lapsos de tiempo aleatorios.

Los resultados obtenidos se sintetizan en la **Tabla 15. Reportes Sobre el Funcionamiento del Biodigestor Escala Laboratorio.**

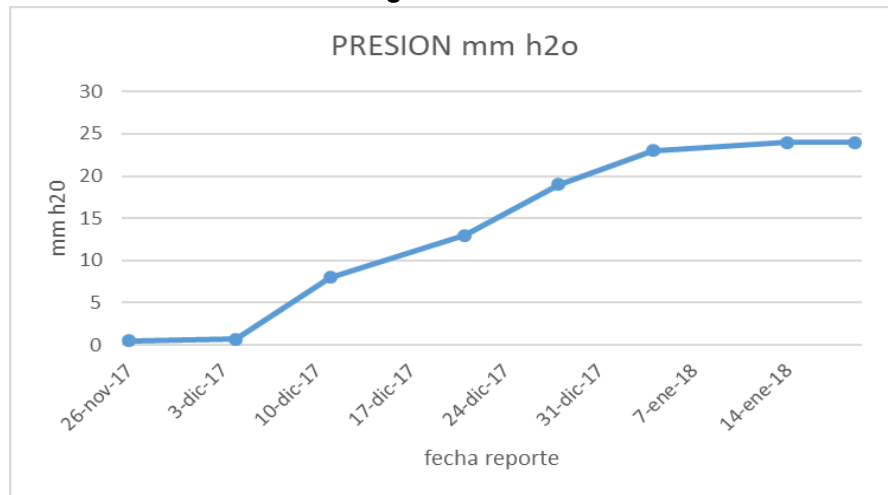
Tabla 15 Reportes Sobre el Funcionamiento del Biodigestor Escala Laboratorio

REPORTES SOBRE EL FUNCIONAMIENTO DEL BIODIGESTOR ESCALA LABORATORIO PERIODO (26/NOV/2017 - 26/ENE/2018)								
FECHA	TEMPERATURA AMB °C	TEMPERATURA INTERNA BIODIGESTOR °C	VOLUMEN GAS gal	PRESION mm h2o	PRESION mm hg	VOLUMEN BIOMASA gal	VOLUMEN DE BIOMASA AGREGADO	PH medido con cintas de ph
26-nov-17	24	28	39	Puesta en marcha		18	Puesta en marcha	4,5
4-dic-17	22	27	39	0,5	0,036778227	18	0	5
11-dic-17	26	28	39	0,7	0,051489518	45	27	4,5
21-dic-17	27	28	12	8	0,588451637	45	0	6
28-dic-17	25	27	12	13	0,95623391	45	0	6,5
4-ene-18	24	27	12	19	1,397572637	45	0	6,5
14-ene-18	26	28	12	23	1,691798455	45	0	6
19-ene-18	22	28	12	24	1,76535491	45	0	6
26-ene-18	21	26	12	24	1,76535491	45	0	6,5

Fuente: Autor, 2018

a continuacion en la **Grafica 3. presion de salida de gas** se puede apreciar el como fue el aumento en la presion del gas. durante el periodo de operación del digestor. este aumento se explica con la generacion del mismo apartir de la degradacion anaerobia realizada en el sistema.

Grafica 3 Presión de salida de gas



Fuente: Autor, 2018

La **Grafica 3**. Muestra como el aumento de la presión interna del sistema fue aumentando de forma gradual hasta estabilizarse nuevamente. Esto puede derivar por la muerte o inactivación de las bacterias.

8.4.3. Remoción Por El Sistema

La principal funcionalidad que tiene el biodigestor, es la generación de gas a partir de la degradación anaerobia de materia orgánica. Como se pudo apreciar en el numeral anterior uno de los indicadores es el aumento de presión de salida de gas, esto como consecuencia a la generación del mismo.

Por otra parte, existen otros indicadores de influencia indirecta los cuales nos servirán para determinar si el proceso de degradación se está efectuando. Uno de estos indicadores está asociado a la reducción de la concentración de la DQO de la Efluente que será sometida al proceso. Sin embargo, existe otro indicador el cual está relacionado con la disminución en la cantidad de sólidos totales suspendidos en el agua.

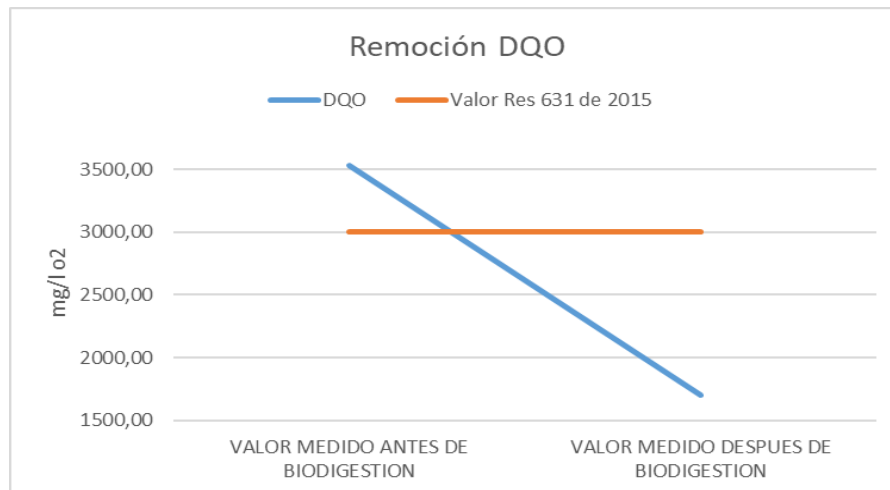
A continuación, en la **Tabla 16. Remoción por el Sistema** se sintetizan los valores obtenidos en la caracterización inicial realizada al efluente, la caracterización realizada al salir del proceso de degradación y por consiguiente el porcentaje de remoción obtenido.

Tabla 16. Remoción por el Sistema

REMOCION POR EL SISTEMA					
PARAMETRO	UNIDAD	VALOR REFERENCIA	VALOR MEDIDO ANTES DE BIODIGESTION	VALOR MEDIDO DESPUES DE BIODIGESTION	% REMOCION
DQO	mg/L O ₂		3526,12	1703,75	52%
SST	mg/L	800	2398,33	656,67	73%
TURBIEDAD	NTU	NA	88,23	14,66	83%

Fuente: Autor, 2018

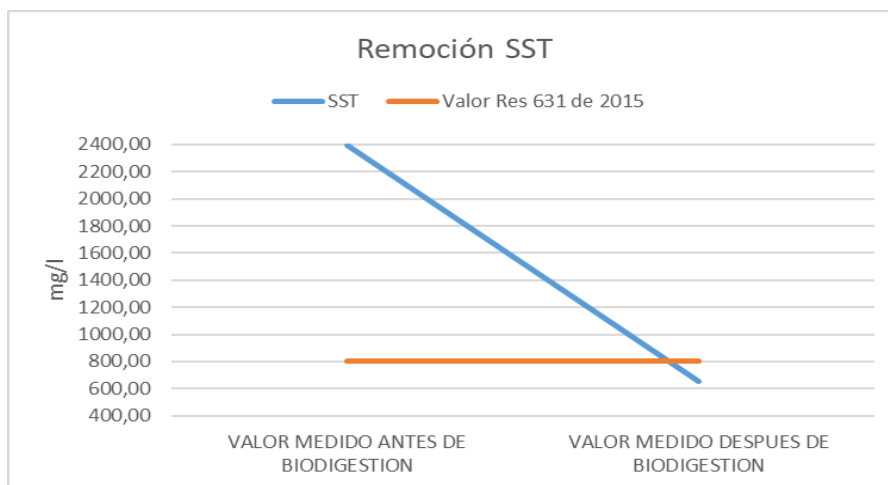
Grafica 4 Remoción DQO



Fuente: Autor, 2018

En la grafica anterior se puede observar como el proceso disminuyo la DQO del agua miel esto muestra que hubo accion de degradacion y por consiguiente teoricamente subsistencia de microorganismos metanogenicos.

Grafica 5 Remoción SST



Fuente: Autor, 2018

En la **Grafica 6 Remoción SST**, se observa el cómo el proceso de degradación disminuyo la cantidad de solidos suspendidos totales. Hasta el punto de llevar el vertimiento al cumplimiento normativo.

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- A partir de los resultados obtenidos en la caracterización realizada a las aguas miel antes de entrar al proceso de biodigestión, se encuentra que no hay cumplimiento por parte del vertimiento con relación a los valores de referencia estipulados en la resolución 631 de 2015. Por otra parte, esta misma situación presenta una oportunidad para el desarrollo del presente proyecto. Debido a que el incumplimiento normativo se inicia a partir de la gran carga orgánica que contienen el efluente residual, dicha materia orgánica es utilizada como insumo para el funcionamiento del biodigestor.

Por otra parte, se encuentra que el efluente residual proveniente del lavado de café, contiene gran cantidad de azúcares con lo que se favorece el proceso de fermentación, el cual hace parte a una de las fases de la biodigestión.

- Para el diseño del biodigestor, fue fundamental la determinación de subproductos generados por el beneficio y lavado de café. A partir de los resultados obtenidos en el **numeral 8.2**, se puede concluir que los residuos generados tanto en el beneficio como en el lavado de café presentan una gran oportunidad para el funcionamiento del reactor ya que hay gran transferencia de materia orgánica desde el café hacia el agua residual.

Por otra parte, teniendo en cuenta que en la finca donde se realizó el presente proyecto realiza el beneficio y lavado por medio del proceso denominado en la normatividad colombiana beneficio ecológico, la concentración de azúcares y materia orgánica en sus aguas residuales se presentan en mayor magnitud. Ya que se utiliza menor volumen de agua que en el proceso tradicional.

- El diseño, construcción y puesta en marcha del biodigestor, se realiza en conjunto con la dueña de la finca donde se realiza el estudio y los productos obtenidos se encuentran en el **numeral 8.3** del presente proyecto. Apartar

de dichos resultados y el desarrollo en general del proyecto se concluye que el mismo tuvo una culminación satisfactoria, ya que permite introducir la cultura campesina a nuevos sistemas que tienen como función tanto el tratamiento de aguas residuales; buscando el cumplimiento normativo. Como la generación de nuevas fuentes de energía.

- Al realizar la evaluación del desempeño del biodigestor, dichos resultados se sintetizan en el **numeral 8.4** A partir de los mismos en primera instancia se encuentra que **no** hubo un funcionamiento con alta eficiencia, lo anterior se puede explicar. por el poco tiempo de operación del biodigestor ya que, no se dio alcance para la inoculación y reproducción de bacterias metanogenicas. en segunda instancia al caracterizar al agua residual saliente del biodigestor, se encuentra que por medio del reactor se logra el cumplimiento normativo por parte del vertimiento. Derivando lo anterior en un análisis de remoción por parte del biodigestor; encontrando que el biodigestor fue eficiente en cuanto a la remoción de DQO y SST, los cuales tienen participación directa de materia orgánica.
- Por último, se puede concluir que el funcionamiento del biodigestor fue satisfactorio ya que muestra una clara degradación de materia orgánica. Por otra parte se encuentra que por medio de la biodigestión se generó biogás ya que teniendo de forma constante un volumen de 12 galones de gas durante 1 mes la presión interna del reactor aumento de 8mm h₂O a 24 mmh₂O. a partir de lo anterior y teniendo en cuenta las relaciones entre volumen y presión se puede concluir que la cantidad de gas se triplico.
- Sin embargo, al analizar la producción de gas del reactor se encuentra que no fue la esperada ya que el aumento de presión fue muy poco. Lo anterior presenta una oportunidad para posibles futuros proyectos ya que podrían modificar los parámetros de diseño del reactor con el fin de aumentar su eficiencia y determinar en qué proporción las fallas que presento el digestor fue por errores constructivos.

BIBLIOGRAFÍA

- 1- SEMARNAT. (2010). *Especificaciones técnicas para el Diseño y Construcción de Biodigestores*
- 2- Núñez, G. E. (4 de enero de 2013). *Caficultura en Cundinamarca inicia año con optimismo*. Obtenido de *confidencial Colombia*: <http://confidencialcolombia.com/es/1/304/4500/Caficultura-en-Cundinamarca-inicia-a%C3%B1o-con-optimismo-Cafe-cundinamarca-2013-econom%C3%ADa-Colombia.htm>
- 3- Salazar Salas, L. A., Quiroga Mateus, R. Y., & Castillo Rojas, L. F. (2013). Diagnóstico del tratamiento de aguas residuales mediante los sistemas de CENICAFE y Majavita del beneficio ecológico del café con módulo becolsub en la Hacienda Majavita. INNOVANDO EN LA U, 9.
- 4- Rodríguez Valencia, N. (2009). MANEJO DE RESIDUOS EN LA AGROINDUSTRIA CAFETERA: CENICAFE. Obtenido de CENICAFE Web site: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/acodal/xxx.pdf>
- 5- Puerta Quintero, G. I. (2007). REGISTRO DE LA TRAZABILIDAD DEL CAFE EN LA FINCA. AVANCES TECNICOS CENICAFE, 1-8.
- 6- Real Olvera, J., & Islas Gutiérrez, J. (2010). Biodegradación anaerobia de las aguas generadas en el despulpado del café. Biotecnología.
- 7- Gutiérrez Guzmán, n., Valencia Granada, E., & Aragón Calderón, R. A. (2014). Publicaciones: U DISTRITAL. Obtenido de U. DISTRITAL Web site:<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/colfor/article/view/5407>
- 8- Rojas Vélez. (2011). ventajas: biodigestores. blogspot. Obtenido de [biodigestores.blogspot:<http://biodigestores.blogspot.com.co/2011/11/ventajas-elbiodigestor.html>](http://biodigestores.blogspot.com.co/2011/11/ventajas-elbiodigestor.html)
- 9- Braun, W. v. (s.f.). dacateca: unad.
- 10- guerrero , I. (agosto de 2014). *vida verde*. Obtenido de *vida.verde* web site: <http://vidaverde.about.com/od/Energias-renovables/a/Que-Es-El-Biogas.htm>

- 11- UNAD. (enero de 2012). *datateca unad*. Obtenido de unad web site: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/301332/contLinea/leccin_5_digestin_a_naerobia.html
- 12- UDL. (junio de 2010). *UDL*. Obtenido de UDL Web site: <http://web.udl.es/usuarios/r5213847/metanog.html>
- 13- cenicafe. (2016). *manejo de residuos del beneficio del cafe*. chinchina: cultivemos .
- 14- UPRM. (21 de Octubre de 2014). *BIOLOGY: UPRM*. Obtenido de UPRM Web site: <http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p2-redox.pdf>
- 15- UNAD. (26 de septiembre de 2014). *datateca: UNAD*. Obtenido de UNAD Web site: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358041/EXE/leccin_8_determinacin_y_clculo_de_la_dbo5_y_dbo.html
- 16- UNAD. (26 de septiembre de 2014). *datateca: UNAD*. Obtenido de UNAD Web site: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358041/EXE/leccin_9_determinacin_y_clculo_de_la_dqo.html
- 17- guerrero , I. (AGOSTO de 2014). *¿QUE ES EL BIOGAS?* Obtenido de vidaverde WEB SITE: <http://vidaverde.about.com/od/Energias-renovables/a/Que-Es-El-Biogas.htm>
- 18- CENICAFE. (2016). *manejo de subproductos*. chinchina: cultivemos cafe.
- 19- condorchem. (febrero de 2011). *condorchem* . Obtenido de condorchem blogspot: <http://blog.condorchem.com/tratamiento-biologico-de-aguas-residuales/>
- 20- UNAD. (enero de 2012). *datateca unad*. Obtenido de unad web site: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/301332/contLinea/leccin_5_digestin_a_naerobia.html
- 21- aguamarket. (octubre de 2010). *DICCIONARIO DEL AGUA*. Obtenido de aguamarket web site: <http://www.aguamarket.com/diccionario/terminos.asp?Id=177%20&%20termino=Bacterias+metanog%E9nicas>

- 22- Antonia, T. (2015). *batanga*. Obtenido de batanga Web site: <http://www.batanga.com/curiosidades/4505/que-es-el-biogaS>
- 23- UNAD. (febrero de 2007). *DatatecaUnad*. Obtenido de UNAD Web site: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358010/exe/leccin_29_metanogenesis.html
- 24- CENICAFE. (2016). *manejo de subproductos*. chinchina: cultivemos cafe.
- 25- kenbi. (s.f.).Laboratorios INTEMAN S.A. (26 de 10 de 2016). *Kenbipedia DQO*. Obtenido de kenbi web site: http://www.kenbi.eu/kenbipedia_3.php
- 26- kenbi. (s.f.).Laboratorios INTEMAN S.A. (26 de 10 de 2016). *Kenbipedia DBO*. Obtenido de kenbi web site: http://www.kenbi.eu/kenbipedia_3.php
- 27- el agua potable. (25 de AGOSTO de 2013). *QUE ES EL ORP Y PARA QUE SIRVE*. Obtenido de <http://www.elaguapotable.com/Que%20es%20el%20ORP%20o%20potencial%20REDOX%20y%20para%20que%20sirve.pdf>
- 28- AENOR. (2013). *Norma nº UNE-EN 1484:1998*. España.
- 29- IDEAM. (2007). *Solidos Suspendidos Totales en Agua Secados a 103°C - 105°C*. Bogota D.C.
- 30- Cordoba Mena , F. E. (Noviembre de 2017). Guia para la Determinacion de DQO en Fuentes Hidricas Superficiales. (F. C. Rojas Garzon, Entrevistador)
- 31- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). *Resolucion 631 de 2015*.

ANEXOS

ANEXO I "Guía para la Determinación de la DQO en Fuentes Hídricas Superficiales"

"Guía Para la Determinación De la DQO en Fuentes Hídricas Superficiales"

INTRODUCCION

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua, bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo.

Las sustancias orgánicas e inorgánicas oxidables presentes en la muestra, se oxidan mediante reflujo cerrado en solución fuertemente ácida (H_2SO_4) con un exceso de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) en presencia de sulfato de plata (Ag_2SO_4) que actúa como agente catalizador, y de sulfato mercurico ($HgSO_4$) adicionado para eliminar la interferencia de los cloruros. Después de la digestión, el $K_2Cr_2O_7$ remanente se titula con sulfato ferroso amoniacal para determinar la cantidad de $K_2Cr_2O_7$ consumido. La materia orgánica se calcula en términos de oxígeno equivalente.

MARCO TEORICO:

En esta práctica de laboratorio se hace el análisis de una muestra, determinando la Demanda Química De Oxígeno (DQO), que es un parámetro analítico de polución, que mide el material orgánico contenido en una muestra líquida mediante oxidación química; esta determinación es una medida de la cantidad de oxígeno consumido.

La demanda química de oxígeno (DQO) determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua residual, bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo. Si esta prueba al agregarle la disolución catalizadora y disolución digestora toma un color verdoso de inmediato la muestra no sirve, puesto que esta tiene material orgánico y no permite determinar la DQO.

Los parámetros de calidad del agua superficial de DQO son:

- Agua no contaminada $DQO < 10 \text{ mg/l}$
- Agua de buena calidad $DQO < 20 \text{ mg/l}$
- Agua aceptable $DQO < 40 \text{ mg/l}$
- Agua contaminada $DQO < 200 \text{ mg/l}$
- Agua fuertemente contaminada $DQO > 200 \text{ mg/l}$

OBJETIVO:

- Determinar la presencia de demanda química de oxígeno presente en el agua residual mediante un método volumétrico.

MATERIALES Y REACTIVOS:

- Bureta.
- Erlenmeyer.
- Vaso de precipitado
- Soporte
- Tubos de ensayo
- Pipeta


PROCEDIMIENTO

1. Mezcle en un tubo de ensayo con 2,5 ml de muestra, 1,5 ml de solución digestora y 3,5 ml de reactivo de ácido sulfúrico y agite suavemente.
2. Mezcle en un tubo de ensayo con 1,5 ml de solución digestora y 3,5 ml de reactivo de ácido sulfúrico.
3. Llevar a digestión en el termo reactor durante 2 horas a 150°C
4. Deje Enfriar.
5. Lleve el contenido del tubo de ensayo al Erlenmeyer, Adicione 2 gotas de indicador de ferroina, Titule el contenido del Erlenmeyer con solución de Sulfato de Amonio Ferroso (FAS) 0.0025 N.
6. La titulación termina cuando la solución pasa de color verdoso a color vino tinto.

$$[] DQO = \frac{(V_{FAS \text{ Blanco}} - V_{FAS \text{ Muestra}}) * N_{FAS} * 8000}{V_{\text{muestra}}}$$

$$N_{FAS} = \frac{V_{\text{solucion digestora}} * N_{\text{solucion digestora}}}{V_{FAS}}$$

ANEXO II Guía IDEAM para determinar Solidos Suspendidos Totales En Agua Secados a 103°C - 105° C

	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia			
	SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL			
	Código TP 0088	Fecha de elaboración: 02/08/2007	Versión: 03	Página: 1 de 7
	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES EN AGUA SECADOS A 103 – 105 °C.			

TÍTULO: SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES EN AGUA SECADOS A 103 – 105 °C.

CÓDIGO: TP0088

VERSIÓN: 03

COPIA N°: _____

ELABORADO POR:

 ANA MARÍA HERNÁNDEZ H
 ING. QUÍMICA U.N.


REVISADO POR:

 ROCIO DEL PILAR BOJACA B.
 QUÍMICA U.N.

APROBADO POR:

 MARTA ELENA DUQUE S.
 Coordinadora GLCA

* Este documento debe ser revisado por lo menos cada dos años.

	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia		
	SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL		
	Código TP 0088	Fecha de elaboración: 02/08/2007	Versión: 03
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES EN AGUA SECADOS A 103 – 105 °C.			

DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES EN AGUA SECADOS

A 103 –105°C

1. INTRODUCCIÓN

Las aguas crudas naturales contienen tres tipos de sólidos no sedimentables: suspendidos, coloidales y disueltos. Los sólidos suspendidos son transportados gracias a la acción de arrastre y soporte del movimiento del agua; los más pequeños (menos de 0.01 mm) no sedimentan rápidamente y se consideran sólidos no sedimentables, y los más grandes (mayores de 0.01 mm) son generalmente sedimentables.

Los sólidos coloidales consisten en limo fino, bacterias, partículas causantes de color, virus, etc., los cuales no sedimentan sino después de periodos razonables, y su efecto global se traduce en el color y la turbiedad de aguas sedimentadas sin coagulación. Los sólidos disueltos, materia orgánica e inorgánica, son invisibles por separado, no son sedimentables y globalmente causan diferentes problemas de olor, sabor, color y salud, a menos que sean precipitados y removidos mediante métodos físicos y químicos.


El método se aplica en este laboratorio para la matriz agua. Está validado para el intervalo de 4,5 a 20000 mg/L. Es un método gravimétrico que se basa en la retención de las partículas sólidas en un filtro de fibra de vidrio a través del cual se hace pasar una muestra homogénea; el residuo que queda retenido se seca a 103-105°C. El incremento en el peso del filtro representa la cantidad de sólidos suspendidos totales.

2. DEFINICIONES

Eb: Estándar de concentración baja
 Ea: Estándar de concentración alta
 LDM: Límite de Detección del Método
 I.A. Intervalo de Aplicación
 s: Desviación Estándar
 CV: Coeficiente de Variación
 R: Porcentaje de recuperación
 E(%): Porcentaje de error
 Std: Estándar

3. ASPECTOS DE SALUD Y SEGURIDAD LABORAL

Utilice los implementos de seguridad, de acuerdo con lo señalado en el instructivo AID174 (Bata, pantalón, zapatos antideslizantes, gafas de seguridad, tapabocas o respirador con cartuchos adecuados).

	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia		
	SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL		
	Código TP 0088	Fecha de elaboración: 02/08/2007	Versión: 03
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES EN AGUA SECADOS A 103 – 105 °C.			

6. TOMA Y PRESERVACIÓN DE MUESTRA

Tome la muestra en tal forma que no contenga partículas flotantes grandes o aglomerados sumergidos de materiales no homogéneos.

Utilice frascos plásticos de polipropileno de por lo menos 500 mL de capacidad.

Refrigere la muestra a 4°C hasta el momento del análisis para minimizar la descomposición microbiológica de los sólidos. Antes de iniciar el análisis, lleve la muestra a temperatura ambiente.

Efectúe el análisis dentro de los siete días siguientes a la toma de la muestra.

7. APARATOS, REACTIVOS, MATERIALES Y VIDRERIA

7.1 APARATOS

7.1.1. Homo digital (ED 53 WTB Binder)

7.1.2. Balanza analítica de cuatro cifras decimales (Mettler Toledo AG 204)

7.1.3. Bomba de vacío (Emerson Gast)

7.2 REACTIVOS

7.2.1. Agua destilada

7.2.2. Caolín coloidal USP (United States Pharmacopoeia XIII)

7.3 MATERIALES Y VIDRERIA

7.3.1. Botellas de Polipropileno.

7.3.2. Aparato completo para filtración por membrana, fabricado en plástico (policarbonato), para membranas de 47 mm de diámetro, capacidad de 250 mL, para ser utilizado para filtración al vacío o a presión, con recipiente receptor de filtrado.

7.3.3. Filtros de fibra de vidrio Ref: S&S GF6, diámetro 47 mm, REF 10370019

7.3.4. Cápsulas de aluminio de 65 mm de diámetro, para pesar.


7.3.5. Pinzas metálicas para manejo de las cápsulas de aluminio y de los filtros de fibra de vidrio.

7.3.6. Microespátula metálica para manejo de los filtros de fibra de vidrio.

7.3.7. Desecador para SST.

7.3.8. Probetas de vidrio de 100, 250 y 500 mL.

7.3.9. Frasco lavador.

	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia			
	SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL			
	Código TP 0088	Fecha de elaboración: 02/08/2007	Versión: 03	Página: 5 de 7
	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES EN AGUA SECADOS A 103 – 105 °C.			

8. LIMPIEZA DE LA VIDRIERÍA

El material de vidrio que se utiliza en este método se lava siguiendo el procedimiento general de lavado que se sigue en el laboratorio y que se describe en el documento TP0125.

9. PREPARACION DE ESTÁNDARES DE CONTROL DE CALIDAD

En un vaso de 250 mL coloque alrededor de 10 gramos de caolín y séquelo a 103-105°C durante dos horas, como mínimo. Deje enfriar dentro de un desecador, hasta temperatura ambiente. Prepare las siguientes muestras como control de calidad:

ESTÁNDAR CONTROL Concentración 50 mg/L. Prepárelo diariamente.

Peso necesario de caolín para preparar 100 mL de suspensión = 0,0050 g. Si mantiene el caolín en el desecador, no se requiere secarlo cada vez.

Preparación: Pese directamente en un vaso de 250 mL 0.0050 g de caolín y adicione 100 mL de agua destilada medidos con una probeta. Agite para homogeneizar.

Peso esperado de residuo seco = 5 mg

ESTÁNDAR CONTROL Concentración 500 mg/L. Prepárelo diariamente.

Peso necesario de caolín para preparar 100 mL de suspensión = 0,0500 g. Si mantiene el caolín en el desecador, no se requiere secarlo cada vez.

Preparación: Siga el procedimiento indicado anteriormente para el patrón de 50 mg/L.

Peso esperado de residuo seco = 50 mg.

10. PROCEDIMIENTO.

10.1. Preparación del filtro o disco de fibra de vidrio: Siempre maneje el disco mediante pinzas metálicas y/o microespátula metálica. No manipule el filtro con la mano.

10.1.1 Marque cada cápsula de aluminio con un número, de forma consecutiva.

10.1.2 Coloque el disco sobre el soporte, con el lado rugoso hacia arriba, aplique vacío.


10.1.3 Lave el disco con tres porciones sucesivas de 20 mL de agua destilada, medidos con probeta.

10.1.4 Deje el vacío durante 1 minuto adicional para secar el disco.


10.1.5 Cuidadosamente y con la ayuda de una microespátula o de unas pinzas, retire el disco y colóquelo dentro de la cápsula de aluminio correspondiente.

10.1.6 Seque el conjunto (cápsula de aluminio + disco) en el Homo precalentado a 105°C por 1 h.

10.1.7 Lleve el conjunto a un desecador y deje enfriar aproximadamente por 15 minutos, hasta temperatura ambiente.

	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia		
	SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL		
	Código TP 0088	Fecha de elaboración: 02/08/2007	Versión: 03
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES EN AGUA SECADOS A 103 – 105 °C.			

- 10.1.8 Pese y registre el peso del conjunto en el formato correspondiente TF0087, en la columna Tara 1.
- 10.1.9 Repita el ciclo de secado, enfriado y pesado. Registre en el formato el nuevo peso. Mantenga el conjunto en un desecador hasta que se vaya a utilizar; registre en columna tara 2.
- 10.1.10 La máxima variación aceptada en el peso del conjunto es de cinco unidades en la cuarta cifra decimal. Si se cumple con este requisito se puede decir que se ha alcanzado peso constante. En caso contrario se debe someter a un nuevo ciclo de secado hasta que se cumpla con el requisito anterior (un tercer ciclo de secado se registra en la columna de observaciones).
- 10.2 Procesamiento de la muestra.
- 10.2.1 Saque del desecador el conjunto correspondiente a la muestra que va a procesar. Instale el disco en el equipo de filtración. Haga vacío en el sistema y fije el disco con una pequeña cantidad de agua destilada.
- 10.2.2 Agite invirtiendo el recipiente de la muestra varias veces.
- 10.2.3. De la muestra recién agitada, tome rápidamente una alícuota medida con probeta, transfiera cuantitativamente al filtro y registre el volumen total filtrado en el formato TF0087.
- 10.2.4 Deje el vacío por un minuto más para retirar el exceso de humedad del filtro.
- 10.2.5 Retire cuidadosamente el disco con ayuda de una microespátula y colóquelo en la cápsula de aluminio correspondiente.
- 10.2.6 Seque el conjunto en el Horno a 103-105°C, durante 1 hora.
- 10.2.7 Lleve el conjunto a un desecador y deje enfriar aproximadamente por 15 minutos, hasta temperatura ambiente.
- 10.2.8 Pese y registre el peso del conjunto en el formato TF0087, en la columna Peso 1
- 10.2.9 Repita el ciclo de secado, enfriado y pesado. Registre en el formato el nuevo peso, en la columna peso 2.
- 10.2.10 La máxima variación aceptada en el peso del conjunto es de cinco unidades en la cuarta cifra decimal. Si se cumple con este requisito se puede decir que se ha alcanzado peso constante. En caso contrario se debe someter a un nuevo ciclo de secado hasta que se cumpla con el requisito anterior (registre el tercer peso en la columna de observaciones).
- 10.2.11 Tape firmemente los frascos que contienen el residual de cada muestra. Entréguelos a la persona designada para el manejo del cuarto frío con el fin de que sean almacenados nuevamente.

	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia		
	SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL		
	Código TP 0088	Fecha de elaboración: 02/08/2007	Versión: 03
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES EN AGUA SECADOS A 103 – 105 °C.			

11. PROCESAMIENTO DE DATOS Y CALCULO DE RESULTADOS

Efectúe los cálculos por medio de la ecuación:

$$SST = \frac{(A - B)1000}{V}$$

Donde:

SST: Sólidos Suspendidos Totales, en mg/L

A: Peso final del conjunto (disco + cápsula de aluminio) con el residuo seco, en mg.

B: Peso inicial del conjunto (disco + cápsula de aluminio), en mg.

V: Volumen de muestra filtrada, en mL.

Registre los resultados en el formato TF0067, con dos cifras significativas.

12. CONTROL DE CALIDAD Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

12.1 En el análisis de muestras debe considerar la lectura de un estándar de baja concentración (50 mg/L) y uno de alta concentración (500 mg/L). Los resultados de los análisis de los estándares de control deben encontrarse dentro de los límites establecidos en la carta de control del método; si el resultado analítico cae fuera de los límites de control normales, deben revisarse los reactivos y material de vidrio. El análisis solo se puede reanudar cuando se corrija el problema.

12.2 Se debe procesar un duplicado por cada 20 muestras analizadas (por lo menos uno). Los duplicados evalúan la limpieza del material de vidrio y la replicabilidad del método. El porcentaje de la diferencia entre los duplicados no debe ser mayor al 10%; si la variación excede este límite, debe repetirse el análisis.

12.4 Los resultados son diligenciados en el formato TF0067 correspondiente a captura de datos de métodos gravimétricos reportando dos cifras significativas, y deben ser entregados al líder del grupo de análisis fisicoquímicos.

13. BIBLIOGRAFIA

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. *American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation*. 20ed., New York, 1998

Instructivo IS0174. Documentación de la Calidad. Sistema de Calidad del Laboratorio del Ideam

Carpeta de Validación del Método (Código CV0293). *Documentación de la Calidad. Sistema de Calidad del Laboratorio del Ideam*.

Procedimiento relacionado, PR, código PC0125. *Documentación de la Calidad. Sistema de Calidad del Laboratorio del Ideam*.

ROMERO ROJAS, J.A., Calidad del Agua Escuela Colombiana de Ingeniería 2002.

ANEXO III “Tabla de relaciones volumétricas vs alturas para el biodigestor”

TABLA DE RELACIONES VOLUMÉTRICAS VS ALTURAS PARA EL BIODIGESTOR									
punto A		punto B			intervalo (h1, h2)	distancia entre intervalos m	volumen m3	volumen acum gal	%
diametro (m)	altura (m)	diametro (m)	altura (m)	altura (m)					
0,216	0,00	0,250	0,05	0,05 (0,00 - 0,05)	0,05	0,05	2,2533	2,2533	4%
0,250	0,05	0,261	0,1	0,1 (0,05 - 0,10)	0,05	0,05	2,7053	4,9586	9%
0,261	0,10	0,278	0,15	0,15 (0,10 - 0,15)	0,05	0,05	3,0097	7,9683	14%
0,278	0,15	0,288	0,2	0,2 (0,15 - 0,20)	0,05	0,05	3,3241	11,2923	20%
0,288	0,20	0,295	0,25	0,25 (0,20 - 0,25)	0,05	0,05	3,5266	14,8189	26%
0,295	0,25	0,302	0,30	0,30 (0,25 - 0,30)	0,05	0,05	3,7291	18,5480	30%
0,302	0,30	0,309	0,35	0,35 (0,30 - 0,35)	0,05	0,05	3,9316	22,4796	33%
0,309	0,35	0,316	0,4	0,4 (0,35 - 0,40)	0,05	0,05	4,1341	26,6137	40%
0,316	0,40	0,323	0,45	0,45 (0,40 - 0,45)	0,05	0,05	4,3366	30,9498	46%
0,323	0,45	0,330	0,5	0,5 (0,45 - 0,50)	0,05	0,05	4,5391	35,4859	52%
0,330	0,50	0,337	0,55	0,55 (0,50 - 0,55)	0,05	0,05	4,7416	40,2275	59%
0,337	0,55	0,344	0,6	0,6 (0,55 - 0,60)	0,05	0,05	4,9441	45,1716	65%
0,344	0,60	0,351	0,65	0,65 (0,60 - 0,65)	0,05	0,05	5,1466	50,3157	70%
0,351	0,65	0,358	0,7	0,7 (0,65 - 0,70)	0,05	0,05	5,3491	55,6608	76%
0,358	0,70	0,365	0,75	0,75 (0,70 - 0,75)	0,05	0,05	5,5516	61,2049	80%
0,365	0,75	0,372	0,8	0,8 (0,75 - 0,80)	0,05	0,05	5,7541	66,9590	85%
0,372	0,80	0,379	0,85	0,85 (0,80 - 0,85)	0,05	0,05	5,9566	72,9131	89%
0,379	0,85	0,386	0,9	0,9 (0,85 - 0,90)	0,05	0,05	6,1591	79,0672	93%
0,386	0,90	0,393	0,95	0,95 (0,90 - 0,95)	0,05	0,05	6,3616	85,4213	97%
0,393	0,95	0,400	1,0	1,0 (0,95 - 1,00)	0,05	0,05	6,5641	92,0754	100%
						volumen total gal	56,6463	56,6463	100%
						volumen total l	214	214,4266	

Fuente: Autor

ANEXO VI “VIDEO SOLIDO BIODIGESTOR”

VER VIDEO ADJUNTO